

Державний університет «Житомирська політехніка»
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Мамрай Василь Васильович

УДК 622.2:622.35

ДИСЕРТАЦІЯ

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИДОБУВАННЯ БЛОЧНОГО КАМЕНЮ ДИСКОВИМИ МАШИНАМИ

Спеціальність 05.15.03 – відкрита розробка родовищ корисних копалин

Технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

В. В. Мамрай

Науковий керівник Коробійчук Валентин Вацлавович, д.т.н., професор

АНОТАЦІЯ

Мамрай В. В. Обґрунтування технологічних параметрів видобування блочного каменю дисковими машинами. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю **05.15.03 – відкрита розробка родовищ корисних копалин.** – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» МОН України, Київ, 2020.

Природний камінь є цінним декоративно-облицювальним і оздоблювальним матеріалом. За останні роки зросли вимоги покупців до якості та форми блоків із високоміцних порід природного каменю. Це обумовлено, передусім, підвищенням вартості транспортних перевезень. На даний час, при перевезенні блоків неправильної форми або невеликих розмірів, транспортні витрати не завжди виправдані. Тому сьогодні українським каменедобувним підприємствам висувуються вимоги як до якості самого каменю, так і до лінійних розмірів та форми блоків. Це змушує вітчизняні кар'єри змінювати і поліпшувати технологію видобування природного каменю, впроваджувати ефективні технологічні комплекси та всебічно досліджувати масив родовища.

Перспективними напрямками удосконалення технології видобування блочного каменю є поліпшення невибухових технологій, які не впливають на розвиток техногенних тріщин. Однією з таких технологій є видобування природного каменю за допомогою дискових машин. Через низку переваг ця технологія має перспективи широкого поширення. Така технологія широко використовується в Китаї в умовах нагірних родовищ. В Україні ця технологія лише починає проходити випробування, зважаючи на це, значна кількість аспектів залишається не вивченими. Так, наприклад, необхідно підбирати режимні параметри різання для кожного родовища блочного природного каменю індивідуально. Істотний вплив на технологію видобування мають тріщинуватість та анізотропія гірського масиву. Якщо тріщинуватість масиву гірських порід впливає на кінцеві розміри блоків природного каменю, то

анізотропні властивості облицювальних каменів високої міцності мають вплив на трудомісткість технології видобування. Так продуктивність робочих, які зайняті розколюванням природного каменю може бути на 60 % вище за інших рівних умов, порівняно з продуктивністю при відколюванні блоків від масиву в перпендикулярному напрямку і на 150 % вище продуктивності при направленні площини відколювання під прямим кутом до площини найкращого розколу.

В дисертаційній роботі було проведено дослідження показників очікуваних експлуатаційних втрат сировини при видобуванні блочного природного каменю дисковими машинами з метою порівняння з існуючими технологіями видобування. Дана технологія передбачає видобуток природного каменю підступами висотою 1,2–1,3 м, що виключає операцію завалювання моноліту. Це суттєво впливає на техногенні втрати природного каменю, які виникають в результаті динамічних навантажень. Запропонована технологія видобутку потребує менше технологічного обладнання за рахунок виключення операції завалювання моноліту. В більшості випадків блоки отримуються пасеровані мінімум з двох сторін, що підвищує якість блочної сировини. В дисертації з'ясовано, що нова технологія видобутку має менші втрати в порівнянні з поточною технологією видобутку на Покостівському родовищі гранодіоритів, ділянка «Максимова гора».

Технологія видобування блоків природного каменю за допомогою дискових машин потребує значної площі робочого майданчику. Тому застосування даної технології ускладнене в невеликих кар'єрах де вже проводиться видобування уступами висотою 6 м. Технологія видобування блоків природного каменю за допомогою дискових машин має вищу продуктивність та менші питомі втрати природного каменю ніж алмазно-канатна технологія добування природного каменю.

В дисертаційній роботі з'ясовано, що швидкість робочої подачі інструменту має більший вплив на зношення інструменту, ніж глибина різання. Це можна пояснити тим, що робоча подача інструменту створює більші

динамічні навантаження на алмазні напайки в процесі різання, що сприяє руйнуванню та виколюванню алмазів в напайках.

Глибина різання знижує витрати інструменту менше в порівнянні з робочою подачею дискової машини. Також слід зауважити, що робоча подача здійснюється за рахунок руху машини по рейкам, які вкладені на дерев'яні клинки, що додатково створює динамічні навантаження.

Для визначення оптимальних напрямів різання на основі анізотропності, з вибоїв діючих кар'єрів було проведено відбір проб (зразків) з одночасним орієнтуванням їх в просторі. Кількість зразків змінювалося від чотирьох до дванадцяти при загальній кількості 40 шт. на шість родовищ природного каменю. Орієнтування зразків проводилося таким чином, щоб одна з площин збігалася з азимутом однієї з головних систем тріщин масиву. З проб були виготовлені зразки у формі прямокутних призм площею перетину 100-256 см². Довжина третьої сторони змінювалася від 10 до 30 см. Зразки гірських порід були орієнтовані в просторі і промарковані. При їх орієнтації одна з коротких осей збігалася з однією з головних систем тріщин масиву – вертикальної поздовжньої або поперечної. Результати дослідження показали, що для родовищ габро відносна різниця питомої продуктивності має позитивні значення, а для гранітів – негативні. Ці значення коливаються в межах 12,2-28,7 %. Причому максимальні продуктивності різання блоків каменю спостерігаються по площинах, які проходять паралельно системам тріщинуватості родовищ природного каменю: для граніту – поздовжнім, для габро – поперечним. Відносна різниця між швидкостями при різанні заготовок каменю по площинах, які паралельні поздовжнім і поперечним системам тріщин становить: в масивах граніту – в середньому 24,4 %; в масивах габро – в середньому 18 %.

Це доводить, що продуктивність різання природного облицювального каменю залежить не тільки від фізико-технічних характеристик гірських порід, але також визначається напрямками площин руйнування даної породи.

Однією з головних особливостей при розробці родовищ природного облицювального каменю є вимога збереження монолітності блоків, які видобуваються та їх декоративних властивостей, забезпечення їх правильної геометричної форми. Ці вимоги задовольняють механічні способи відділення блоків. До цих способів відносять гідроклиновий та клиновий способи відокремлення моноліту від масиву і подальше розділення на блоки, суцільне оббурювання масиву, використання невибухових руйнуючих складів або сумішей (НРС), алмазно-канатне різання, а також технологія різання дисковими машинами, яка набуває популярності останнім часом.

На прикладі Головинського родовища лабрадоритів наведено методику вибору напрямку ведення гірничих робіт для дискових машин. Дана методика ґрунтується на вивченні тріщинуватості родовища природного, на основі якого виділено основні напрями тріщин. Для відібраних на кар'єрі проб був здійснений мікроструктурний аналіз. За результатами мікроструктурного дослідження були одержані напрями найлегшого різання дисковими пилами для Головинського родовища. Аналіз кореляційного поля для оптимального напрямку різання та азимуту простягання тріщин показав наявність певних закономірностей у групуванні значень. Виконаний кореляційний аналіз взаємозв'язку рекомендованого напрямку різання з азимутом простягання тріщин 60° для Головинського родовища лабрадориту встановив наявність кореляційного зв'язку, який характеризується коефіцієнтом кореляції – 0,58.

В результаті виконаних розрахунків були отримані численні статистичні дані. Ці дані ясно показують вплив на ефективність реалізації гірничих робіт залежності напрямку ведення видобувних робіт у кар'єрі від природної тріщинуватості масиву.

Ключові слова: природний камінь, дискова машина, блочний камінь, експлуатаційні втрати сировини, напрям гірничих робіт, тріщинуватість, мікроструктурний аналіз, мінеральний склад, структура природного каменю

ABSTRACT

Mamray V.V. «Technological Parameters Substantiation of Dimension Stone Extraction by Disk Machines». – Qualification scientific work as a manuscript.

The Dissertation for the Scientific Degree of Candidate of Technical Sciences, Specialty 05.15.03. – Opencast Mining of Mineral Deposits. – National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2020.

Natural stone is a valuable decorative-facing and finishing material. Buyers' requirements for a quality and form of high-strength blocks of natural stone increased during last years. First of all, it is due to the increasing of transportation costs. At present time, transportation costs are not always justified by transporting blocks of irregular form or small size. That is the reason for the stone-extraction companies in Ukraine to be asked of both the stone quality itself and linear parameters/shape of the blocks. Therefore, it makes the domestic quarries to change and to improve technology of natural stone extraction, to implement effective technological complexes and explore comprehensively massif of deposit.

Perspective areas of extraction work enhancement are improvement of non-blasting technologies of dimension stone extraction having no influence on technogenic fractures development. Extraction of natural stone by disk machines is one of these technologies. Due to number of advantages this technology has a perspective to be wide spread. This technology is realized in China at upland deposits. Now it is being tested in Ukraine. Thus, a lot of parameters are still not researched. So, for example, it is necessary to determine individually the regime parameters of cutting for each deposit of dimension natural stone. Fracture and anisotropy of rock massif have significant impact on the extraction technology. As fracture of rock massif on final sizes of natural stone block, so anisotropic properties of facing, high-strength stone has an influence on laborious of extraction technology.

So, the productivity of working staff involved into splitting of natural stone can be higher up to 60% than in other equal cases, by compression of productivity of

blocks splitting at the massif in perpendicular direction and up to 150% higher than productivity by the direction of splitting planes orientation by perpendicular angle to the plane of the best splitting.

Research of expected exploitation raw loses indexes while extracting the dimension natural stone by disk machines, in order to compare with the already existing extraction technologies, has been performed in the thesis. Present technology foresees extraction of natural stone by sub-benches 1,2–1,3 m and excludes operation of monolith overthrowing.

It has an essential influence on technogenic loses of natural stone that appear like a result of dynamic loading. The suggested extraction technology requires less involvement of technological equipment in the result of monolith overthrowing operation being discarded. In majority of cases stone blocks have smooth plates in two sides minimum. It increases a blocks' quality. It is found out in the PhD Thesis that new extraction technology has less loses in comparison with present one at Pokostivske deposit of granodiorite, the district «Maximova Gora».

Extraction technology of natural stone by disk machines requires significant space of work site. Thus, using of present technology is difficult in small quarries where extraction works have been already carried out by benches 6 m. Extraction technology of natural stone by disk machines has higher productivity and less unit loses of natural stone than diamond-wire extraction technology.

It is determined in the Thesis that the speed of the working flow has more influence on instrument wearout than cutting depth. It can be explained by the creation of higher dynamic loads on diamond solders in the process of cutting, causing the destruction and grinding of diamonds from solders.

Cutting depth decreases instrument loses less in comparison with the working flow of disk machine. Working flow is carried out by the machine motion on the rails (on the wood wedges), that additionally creates dynamic loads.

Collecting of samples from working quarries and their orientation for determination of optimal cutting direction based on anisotropy was carried out. The number of samples changes from 4 to 12. The total amount is 40 samples for 6

deposits of natural stone. Orientation of samples was carried out with the purpose of one of the plates coincides with the azimuth of one of the main fracture system. Samples were processed to obtain rectangular prisms with cross-section square 100-256 cm². The length of the third side was 10-30 cm. One of the short axes coincides with one of the main fracture system of the massif (vertical longitudinal or transverse) by orientation.

The results of the research shows that for gabbro deposits relative difference of unit productivity has positive value and for granite deposits – negative. These values fluctuate within limits 12,2-28,7 %. (Maximum productivity of dimension stone cutting occurs on the parallel to the fracture systems of natural stone deposits surfaces: for granite – longitudinal, for gabbro – transverse. The relative difference between velocities of stone cutting on surfaces being parallel to longitudinal or transverse fracture systems is the following: for granite massif – 24,4 %; for gabbro massif – 18,0 %.

One of the main peculiarity while exploitation of natural facing stone deposits is requirement for saving of: blocks' monolith, decorative properties, regular geometric form. These requirements are met by using of mechanical methods of blocks' extraction. There are hydro-wedge and wedge methods of monolith separation from the massif and further separation of single blocks, continuous array drilling, using of non-explosive destructive compositions or mixtures (NDMs), diamond-wire cutting, and also technology of cutting by disc machines (that becomes popular recently).

It proves that cutting productivity of natural facing stone depends not only on physical and technical characteristics of rocks; but it is also determined by the directions of destruction plates of rocks.

By the example of Golovynske deposit of labradorite the methodic of choosing direction of mining works carrying out for disk machines is presented. This methodology is based on the investigation of natural stone deposit fracturing. And, on the basis of this investigation the main directions of fractures are defined.

Microstructural analysis for samples selected at the quarry was carried out. By the results of this analysis directions of the easiest cutting by disk machines for Golovynske deposit were got. Analysis of the correlation field for optimal direction of cutting and azimuth of fractures propagation shows the availability of some regularities in values grouping. Correlation analysis of interconnection of recommended cutting direction and azimuth of fractures propagation 60° for Golovynske deposit determined correlation connection (the correlation coefficient is 0,58).

A variable statistics data has been received in the result of carried out calculations. These data show influence on effectivity of mining works realization depending on direction of extraction works carrying out in the quarry and natural fracturing of massif.

Keywords: natural stone, disk machine, dimension stone, exploitation loses of raw, direction of mining works, fracturing, microstructural analysis, mineral composition, structure of natural stone.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових виданнях України:

1. Мамрай В.В. Методика моделювання тріщинуватого гранітного масиву і вибору раціонального напрямку закладення видобувного уступу. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2007. № 4 (43). С. 139-144.

2. Мамрай В.В., Панасюк А.В. Визначення закономірностей розподілу параметрів тріщинуватості Межиричського родовища граніту. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2007. № 28. С. 172-179 с.

3. Мамрай В.В. Визначення параметрів середніх природних окремоостей масиву гірських порід на основі графо-статистичного моделювання. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2007. № 2 (41). С. 1-6.

Статті у фахових виданнях, які входять до наукометричних баз:

4. Dimension Stone Blocks Modelling Based on Digital Surface Model Methods / V. Levytskyi, A. Makhno, A. Panasiuk, V. Mamrai. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2018. № 2 (82). С. 259-267. (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних WorldCat; BASE; eLibrary, Google Scholar).

5. Обґрунтування методики вибору напрямку ведення гірничих робіт для дискових машин / Р.В. Соболевський та ін. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2019. № 2 (84). С. 166-175. (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних WorldCat; BASE; eLibrary, Google Scholar).

6. Встановлення питомої продуктивності різання природного каменю дисковими пилами / В.В. Мамрай та ін. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2019. №58. С. 75-83. (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних Google Scholar).

7. Дослідження показників очікуваних експлуатаційних втрат сировини при видобуванні блочної сировини дисковими каменерізними машинами / В.В. Мамрай та ін. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2019. № 1 (83). С. 270-275. (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних WorldCat; BASE; eLibrary, Google Scholar).

Публікації у закордонних виданнях

8. Влияние анизотропности массивов горных пород на условия разработки месторождений блочного камня. / Мамрай В.В. *Добыча, обработка и применение природного камня*. Сборник научных трудов. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И.Носова», 2006. Вып. 6. С. 67-70.

9. Оценка влияния одно- и многошпурового подрывания на монолитность и разубоживание массива декоративного камня. / Бакка Н.Т., Кисель Е.А., Мамрай В.В. *Добыча, обработка и применение природного камня*. Сборник научных трудов. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И.Носова», 2008. Вып. 8. С. 32-36.

10. Experience of Dimension Stone Extraction by Quarry Cutting Machine at Pokostovsky Deposit (Ukraine) / Vasyl Mamray, Valentyn Korobiichuk, Volodymyr Shlapak. *Journal of Mining and Geological Sciences*. 2019. Vol.62, Num. 2. P. 66-69. (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних WorldCat; eLibrary, Google Scholar).

Публікації за матеріалами конференцій:

11. Аналіз впливу відкритих гірничих робіт на довкілля. III Міжвузівська конференція студентів, аспірантів та молодих вчених. / Мамрай В.В. «Сучасні проблеми екології». Збірка доповідей. Житомирський державний технологічний університет. 2006. Ч 2. С. 139-140.

12. New Approaches of Dimension Stone Splitting by Non-blasting Methods in a Quarry. / Kalchuk S., Zhukov S., Mamray V. *VIII International Protodiakonov Colloquium*. Freiberg: TU Bergakademie Freiberg, 2017. Vol.69. P. 97-102.

13. Changes of physical and decorative natural stone properties after impact of high temperature / V. Korobiichuk, V. Shlapak, V. Mamray, O. Sydorov. *II міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики»*. Київ: В-во Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2019. С. 10-13. *Здобувач брав участь в лабораторних випробуваннях.*

14. Post-blasting Contamination of Quarries' Sump Waters / Volodymyr Shlapak, Iryna Davydova, Vasyl Mamray. *International Conference 2019 Innovations for Responsible Surface Mining*. Freiberg: TU Bergakademie Freiberg, 2019. P. 340-350.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	15
РОЗДІЛ 1 СТАН ВИВЧЕНОСТІ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ	20
1.1. Аналіз стану мінерально-сировинної бази та експортного потенціалу декоративно-облицювального каменю України	20
1.2. Особливості гірничих робіт при видобутку блоків природного каменю .	30
1.3. Стан питання з видобутку блочного природного каменю дисковими машинами.....	35
Висновки до розділу 1	43
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ КРИТЕРІЇВ РАЦІОНАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИДОБУТКУ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ	44
2.1. Методи оцінки тріщинуватості.....	44
2.2. Порівняння механічних технологій видобутку природного каменю	46
2.2.1. Розрахунок кількісних і якісних втрат при підготовці покладів до виймання за допомогою канатного різання	46
2.2.2. Розрахунок кількісних і якісних втрат при підготовці покладів до виймання за допомогою дискових машин.....	62
2.3. Показники очікуваних експлуатаційних втрат сировини при видобуванні блоків дисковими каменерізними машинами	68
Висновки до розділу 2	77
РОЗДІЛ 3. ВПЛИВ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ДИСКОВОЇ МАШИНИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИДОБУВАННЯ ГРАНОДІОРИТУ	78
3.1. Методика проведення експерименту	78
3.2. Зношення алмазного інструменту дискової машини при різних напрямках різання	82
3.3. Енергоємність різання дисковою машиною.....	86
Висновки до розділу 3	99

РОЗДІЛ 4. ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ВИБОРУ НАПРЯМУ ВЕДЕННЯ ГІРНИЧИХ РОБІТ ДЛЯ ДИСКОВИХ МАШИН.....	100
4.1. Встановлення питомої продуктивності різання природного каменю дисковими пилами	100
4.2. Обґрунтування методики вибору напрямку ведення гірничих робіт для дискових машин при видобуванні блочного каменю	108
Висновки до розділу 4	122
Загальні висновки.....	123
Література	125
Додаток А	139
Додаток Б.....	140
Додаток В	141
Додаток Г	142

ВСТУП

Актуальність теми. Природний камінь є цінним декоративно-облицювальним і оздоблювальним матеріалом. Вартість блоків з високоміцних порід природного каменю в останні роки в значній мірі визначається не лише його якістю. Значний вплив на вартість блоків справляють їх лінійні розміри та форма, які обумовлюють, передусім, підвищення вартості транспортних перевезень. При перевезенні блоків неправильної форми або невеликих розмірів транспортні витрати менш виправдані, тому українські каменедобувні підприємства змушені змінювати і поліпшувати технологію видобування природного каменю, впроваджуючи ефективні технологічні комплекси, основані на всебічному дослідженні структурних і текстурних особливостей кожного родовища.

Перспективними напрямками удосконалення технологій видобування блочного каменю є застосування методів різання, які запобігають ризикові розвитку техногенних тріщин в блочному масиві. Однією з таких технологій є видобування природного каменю за допомогою дискових машин. Завдяки низці переваг ця технологія має перспективи значного поширення. Вона широко використовується в КНР в умовах нагірних родовищ. В Україні ця технологія починає проходити випробування, однак значна кількість аспектів експлуатації залишається не вивченою. Одним з цих аспектів є необхідність підбирати режимні параметри різання для кожного родовища блочного природного каменю індивідуально. Суттєвий вплив на технологію видобування справляють тріщинуватість та анізотропія гірського масиву. Якщо тріщинуватість масиву гірських порід впливає на кінцеві розміри блоків природного каменю, то анізотропні властивості облицювальних каменів високої міцності мають вплив на трудомісткість технології видобування. Наразі вплив анізотропних властивостей гірської породи на трудомісткість видобування дисковими машинами мало вивчений. Одночасно відсутні чіткі рекомендації, щодо режимних параметрів різання дисковими машинами. Таким чином, обґрунтування технологічних параметрів видобування блочного каменю

дисковими машинами залишається **актуальним науково-практичним завданням.**

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася на кафедрі розробки родовищ корисних копалин ім. проф. Бакка М.Т. Державного університету «Житомирська політехніка» у рамках науково-дослідної теми "Розробка технології видобування блочного декоративного каменю дисковими машинами", державний реєстраційний номер: 0119U101934 (2019-2020 рр.). Автор був виконавцем робіт при проведенні досліджень в зазначеній науково-дослідній темі.

Мета роботи і задачі дослідження – обґрунтувати технологічні параметри видобування блочного каменю дисковими машинами з врахуванням режимів різання та анізотропії гірської породи.

Для досягнення сформульованої мети в дисертаційній роботі поставлені такі **завдання:**

- аналіз показників очікуваних експлуатаційних втрат сировини при видобуванні блоків дисковими каменерізними машинами;

- вивчення впливу режимних параметрів дискової машини на ефективність видобування гранодіориту;

- на основі аналізу анізотропності гірських порід в масиві родовища обґрунтувати методику вибору напряму ведення гірничих робіт для дискових машин при видобуванні блочного каменю.

Об'єкт дослідження – процеси видобування природного каменю.

Предмет дослідження – технологічні параметри різання гірського масиву дисковими машинами.

Методи досліджень. У даній науковій роботі використано такий комплекс сучасних наукових методів досліджень: математичний апарат теорії планування дослідів; методи теорії ймовірності; графоаналітичний та числовий аналіз; кваліметрична оцінка, статистичне опрацювання результатів із використанням засобів обчислювальної техніки; лабораторні дослідження; економічний аналіз; гірничо-геометричний аналіз.

Наукову новизну отриманих результатів представлено науковими положеннями, в яких вперше встановлено:

- логарифмічну залежність продуктивності дискової машини від довжини фронту робіт, яка показує, що найбільш раціональним з економічної точки зору є фронт робіт 40 м і вище.
- на основі відносної різниці між продуктивностями різання заготовок каменю за площинами, паралельними поздовжнім і поперечним системам тріщин, для підвищення продуктивності дискових машин у вибоях необхідно здійснювати різання у напрямку за азимутами простягання і кутами падіння для гранітів – повздовжніх, габро – поперечних систем тріщин масиву;
- закономірності просторової мінливості раціональних напрямків різання по відношенню до системи поздовжніх (S), поперечних (Q) і діагональних (D) тріщин та отримано аналітичну залежність у вигляді поліному другого ступеня для прогнозування раціонального напрямку різання, що дозволило, для Головинського родовища лабрадориту збільшити вихід блоків до 38 %.

Практичне значення одержаних результатів роботи:

- при врахуванні запропонованих в дисертаційній роботі технологічних параметрів роботи дискової машини показники очікуваних експлуатаційних втрат блочної сировини будуть менші на 9 % порівняно з алмазно-канатною технологією видобування;
- представлена в дисертації технологія видобування за допомогою дискових пил (при роботі однієї дискової машини) має вищу продуктивність за алмазно-канатну технологію на 12 %;
- встановлено зростання відносної різниці між швидкостями різання заготовок каменю за площинами, паралельними поздовжнім і поперечним системам тріщин, яка становить: в масивах граніту – в середньому 24,4 %, в масивах габро – в середньому 18 %;
- встановлено залежності швидкості робочої подачі від споживання електроенергії двигуном дискової машини при постійній глибині різання на

гранодіориті, які показують, що при збільшенні глибини різання в 2,7 рази витрата електроенергії збільшується в 1,5 рази;

- розроблено методику визначення питомої продуктивності різання природного каменю дисковими пилами;

- обґрунтовано методику вибору напряму ведення гірничих робіт для дискових машин при видобуванні блочного каменю;

- практичні результати досліджень реалізовано в технологічних процесах ТОВ «Головинський камінь», ТОВ «ГАБРОГОР», з сумарним очікуваним економічним ефектом 557 тис. грн. на рік.

Особистий внесок здобувача. Усі наукові результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно у друкованих працях: [2] – запропонував методику визначення закономірностей розподілу параметрів тріщинуватості Межирічського родовища граніту; [3] – провів графо-статистичне моделювання; [4] – провів цифрову зйомку блоків природного каменю; [5] – провів математичні обрахунки тріщинуватості масиву; [6] – брав участь в практичних вимірах на кар'єрі; [7] – розробив методику визначення показників очікуваних експлуатаційних втрат сировини при видобуванні блочного каменю дисковими каменерізними машинами; [9, 12] – проводив аналітичні обрахунки; [10] – провів порівняння двох технологій видобування; [13] – брав участь в лабораторних випробуваннях; [14] – провів аналіз літературних джерел, сформулював ідею.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи та окремі її результати обговорювалися на науково-технічних конференціях, семінарах та нарадах, а саме: на III-й Міжвузівській конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (Житомир, 2006 р.), V-му Міжнародному колоквіуму Протодяконова (Фрайберг, Німеччина, 2017 р.), II-й Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики» (Київ, 2019 р.), Міжнародній конференції "Інновації для ресурсозбереження відкритих гірничих робіт" (Фрайберг, Німеччина, 2019 р.).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 14 наукових праць, у тому числі 7 статей у наукових фахових виданнях України (з них 4 у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз), 3 публікації у закордонних збірниках наукових праць, 4 тези доповідей в збірниках матеріалів конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота викладена на 143 сторінках машинописного тексту, складається з вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел зі 133 найменувань, 4 додатки на 5 сторінках, містить 56 рисунків, 12 таблиць.

РОЗДІЛ 1

СТАН ВИВЧЕНОСТІ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

1.1. Аналіз стану мінерально-сировинної бази та експортного потенціалу декоративно-облицювального каменю України

У 2018 році з України [1–3] експортувався декоративний камінь з 98 родовищ, у тому числі з 77 родовищ – сировинні блоки. Більше 92 % усього експорту приходить на основні види: граніт, лабрадорит, габро, базальт і андезит. Аналіз виробничої статистики показав, що в найбільшій кількості експортувалася продукція з граніту та габро. Виробництво продукції з декоративного каменю зосереджене у певних місцях і має вкрай нерівномірне поширення по території України. Найбільший обсяг продукції виробляється в областях, де знаходяться родовища декоративного каменю: Житомирській, Кіровоградській, Миколаївській, Запорізькій, Вінницькій. На цьому ринку працюють як вітчизняні підприємства, так і підприємства з іноземними інвестиціями. Водночас характерною особливістю ринку є його експортна направленість. Більша кількість декоративного каменю використовується як оздоблювальний матеріал різної фактури і розмірів для покриття зовнішніх та внутрішніх поверхонь будівель та споруд. Підтверджені запаси декоративного каменю в Україні складають понад 330 млн. куб. м. Всього нараховується понад 190 родовищ, біля 50 % яких знаходяться в Житомирській та Закарпатській областях. За кількістю родовищ за різновидами каменю, що розроблялися та продукція з яких експортувалася, перше місце посідають родовища габро – 40 родовищ, друге за родовищами граніту – 33, третє за родовищами лабрадориту – 8. Значно менша кількість родовищ представлена базальтами та андезитами – 9, вапняками – 7, пісковиками – 7.

Для галузі видобутку та обробки декоративного каменю характерна сезонність збуту. Найбільший обсяг продукції виробляється з квітня по жовтень. Загальнорічний обсяг експорту декоративного каменю [1–3] з України у 2018 році становив 63,33 тис. м³ на суму 53,7 млн. доларів США, що порівняно з попереднім 2017 роком збільшилося на 1,8 тис. м³, а в грошовому

еквіваленті – на 16,4 млн. доларів США. У частках від загального обсягу експорт декоративного каменю становив: блоки – 40 %, готові вироби – 36 %, брусчатка – 24 % (рис. 1.1).

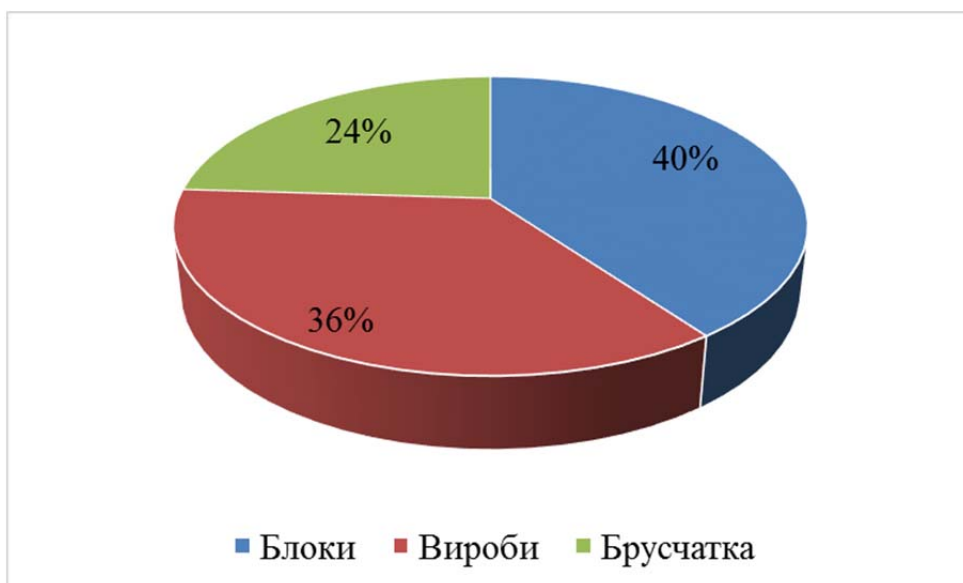


Рис. 1.1. Експорт декоративного каміння за типом продукції

Кількісні та вартісні обсяги експортованого з України у 2018 році декоративного каменю у сировині та виробах наведено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1.

Загальний обсяг експортованого декоративного каміння з України у 2018 році

Декоративний камінь	Обсяги, м ³	Вартість, (USD)
Граніт	34154,91	27241381,93
Лабрадорит	4090,78	3355292,34
Габро	20941,03	20615545,81
Базальт, андезит	3220,90	1222258,47
Пісковик	1886,94	669762,68
Вапняк	3035,70	564918,10
Всього	67330,25	53669159,33

У категорії «сировинні блоки» [1–3] розглядаються безпосередньо блоки, бутовий камінь, уламки гірських порід для створення садово-паркових та ландшафтних композицій, які були отримані у вибої кар’єрів (до цієї категорії не входять плити колоті з пісковика, гнейсу, сланцю). Експорт сировинних блоків граніту у 2018 році в найбільших обсягах здійснювався до ЄС – 37 %, Росії (33 % від загального обсягу експорту гранітних блоків), та Білорусі – 9 %, Азербайджану – 7 %, Узбекистану – 6 % (рис. 1.2). В цілому у 2018 році було експортовано 15,5 тис. м³ сировинних блоків граніту на суму 7,2 млн. доларів США.



Рис. 1.2. Експорт сировинних блоків граніту по країнам

Найбільше було експортовано гранітних блоків [1–3] з Капустинського, Омелянівського, Токівського, Межирічського, Старобабанського, Покостівського родовищ (табл. 1.2).

Таблиця 1.2.

Експорт гранітних блоків по родовищам

Родовище	Кількість, м ³	Кількість, %
Капустинське	4707,20	30 %
Омелянівське	2337,81	15 %
Токівське	2156,05	14 %
Межирічське	1381,47	9 %
Старобабанське	1155,47	7%
Покостівське	1126,14	7 %
Танське	971,09	6 %
Новоданилівське	321,10	2 %
Крупське	317,79	2 %
Войнівське	222,29	1 %
Анастасіївське	196,53	1 %
Інші	588,44	4 %
Всього	15481,38	100 %

Основним споживачем сировинних блоків лабрадориту [1–3] протягом багатьох років поспіль залишається Італія, куди було експортовано 54 % видобутих блоків цього виду декоративного каменю. Також експортувався лабрадорит у блоках до Китаю – 13 %, Гонконгу – 12 %, (рис. 1.3).

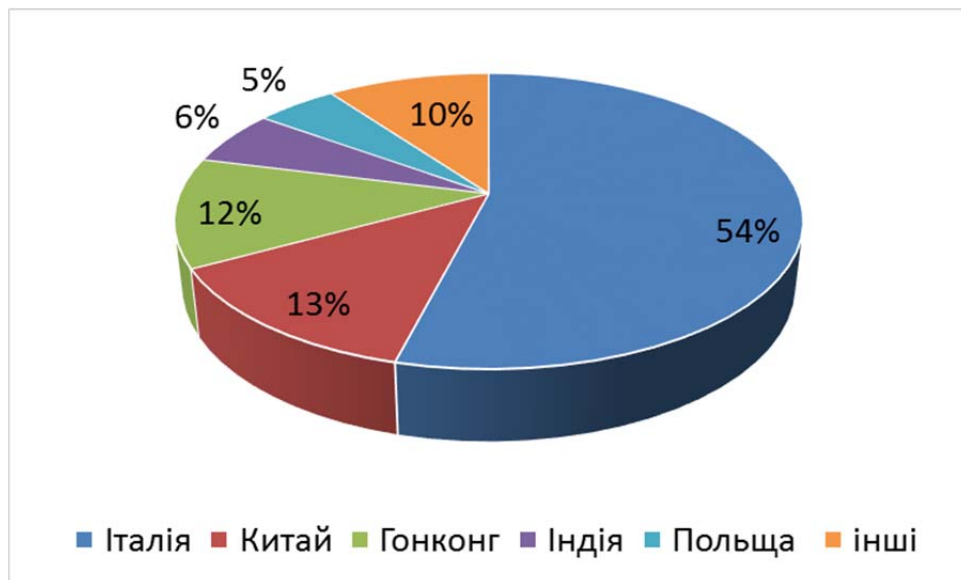


Рис. 1.3. Експорт сировинних блоків лабрадориту по країнам

В цілому було відправлено на експорт лабрадориту у блоках 3,94 тис. м³ на суму 3,1 млн. доларів США. Родовища лабрадориту, з яких найбільше було експортовано блоків, наведені у табл. 3.

Таблиця 3.

Експорт блоків лабрадориту по родовищам

Родовище	Кількість, м ³	Кількість, %
Кам'янобрідське	1544,46	39 %
Добринське	1119,14	28 %
Очеретянське	538,34	14 %
Осниківське	488,69	12 %
Інші	247,77	6 %
Всього	3938,40	100 %

Тенденція на ринку щодо експорту блоків габро [1–3] так само, як і з лабрадориту, є незмінною. У 2018 році блоки габро експортували в основному

до Азербайджану – 45 % і Грузії – 38 % від загального обсягу експорту блоків габро (рис. 1.4).

У 2018 році було експортовано блоків габро 2,6 тис. куб. м на суму 1,2 млн. доларів США. У табл. 1.4 наведено перелік родовищ, з яких найбільше було експортовано блоків габро у 2018 році.

Таблиця 1.4.

Експорт блоків габро по родовищам

Родовище	Кількість, м ³	Кількість, %
Сліпчицьке	542,13	21 %
Буківське-1	484,23	19 %
Буківське-3	227,76	9 %
Буківське, (Букинське)	227,50	9 %
Буківське-2	217,70	8 %
Бистріївське	113,98	4 %
Гацьківське	92,70	4 %
Інші	386,79	15 %
Всього	2613,29	100 %

Окрім граніту, габро і лабрадориту, у 2018 році також експортувалися блоки:

- андезиту та базальту – 1,74 тис. куб. м на суму 374 тис. доларів США (табл. 1.5);

- мармуризованого вапняку та вапняку – 2,6 тис. куб. м на суму 346 тис. доларів США;

- пісковика – 872 куб. м на суму 172 тис. доларів США.

Блоки вапняку експортувалися переважно до СНД, а пісковика – СНД, Угорщини, Німеччини.

Таблиця 1.5

Експорт блоків андезиту та базальту

Сировина	Кількість, м ³	Кількість, %	Експорт до, %
Андезит	1533,81	88 %	Росія – 52 %, Білорусь – 13 %, Угорщина – 10 %, інші – 13 %
Базальт	206,53	12 %	Білорусь – 12 %
Всього	1740,34	100 %	100 %

Експорт з України бруківки, у тому числі, каменю бортового та плит для брукування, у 2018 році склав 16,1 тис. м³ на суму 6,26 млн. доларів США. Основними споживачами цієї продукції були Росія, Литва, Молдова, Польща (табл. 1.6). Найбільше екпортувалося гранітної бруківки порівняно з іншими типами гірських порід (табл. 1.7). До Росії відправлялася переважно гранітна бруківка – 54 % від загального обсягу бруківки з України.

Таблиця 1.6

Експорт бруківки по країнам

Країна	Кількість, м ³	Кількість, %
Росія	11479,05	71 %
Литва	1847,24	11 %
Молдова	702,69	4 %
Польща	672,93	4 %
Латвія	531,42	3 %
Білорусь	514,51	3 %
Словаччина	100,99	1 %
Угорщина	84,54	1 %
Німеччина	80,64	1 %

Таблиця 1.7

Експорт бруківки за типом сировини

Сировина	Кількість, м ³	Кількість, %
Граніт	11243,82	70 %
Габро	3655,20	23 %
Базальт	1025,86	6 %
Андезит	40,50	0,02 %
Пісковик	33,88	0,02 %
Лабрадорит	75,16	0,04 %

Групу виробів складає товарна продукція з декоративного каменю, яка зазнала додаткової обробки після видобутку з родовищ (розколювання, розпилювання, надання різних фактур поверхні) і придатна для використання як архітектурно-будівельні та оздоблювальні вироби.

Асортимент виробів складався переважно з плитки оздоблювальної, плит неокантованих (слябів), архітектурно-будівельних виробів (колони, кулі, балясини, капітелі, портики, плити накривні тощо), ритуальних пам'ятників.

Обсяг експортованих з України у 2018 році виробів з граніту склав 7,4 тис. куб. м на суму 15,4 млн. доларів США [1–3]. Лідером, як і раніше, є продукція з граніту Капустинського та Покостівського родовищ (табл. 1.8). Найбільше було експортовано виробів з граніту до СНД (табл. 1.9).

Таблиця 1.8

Експорт плит та виробів з граніту по родовищам

Родовище	Кількість, м ³	Кількість, %
Капустинське	3261,37	44
Покостівське	954,82	13
Токівське	683,36	9
Омелянівське	666,49	9
Межирічське	502,25	7
інші	1361,42	18

Таблиця 1.9

Експорт плит та виробів з граніту по країнам

Країна	Кількість, м ³	Кількість, %
Білорусь	4236,18	57
Росія	1980,24	27
Польща	273,88	4
Азербайджан	229,07	3
Узбекистан	161,14	2
інші	549,20	7

Окрім виробів з граніту, у 2018 році до Білорусі та Росії експортувалася також більша частина виробів з лабрадориту (табл. 1.10). Всього було відправлено на експорт 77,5 куб. м продукції [1–3] на суму 203 тис. доларів США .

Таблиця 1.10

Експорт плит та виробів з лабрадориту по країнам

Країна	Кількість, м ³	Кількість, %
Білорусь	40,13	52
Росія	13,35	17
Німеччина	6,53	8
інші	17,47	23

Найбільша кількість виготовленої продукції з лабрадориту була з Осниківського, Добринського та Кам'янобрідського родовищ (рис. 1.11).



Рис. 1.11. Експорт плит та виробів з лабрадориту по родовищам, м³

Вироби з габро, а це переважно надмогильні пам'ятники та інша ритуальна продукція, експортувалися переважно до Білорусі, Росії, Азербайджану (табл. 1.12).

Таблиця 1.12

Експорт плит та виробів з габро по країнам

Країна	Кількість, м ³	Кількість, %
Білорусь	8768,67	60
Росія	2443,30	17
Азербайджан	2122,01	14
Казахстан	409,10	3
Молдова	284,76	2
Грузія	250,73	2
Естонія	159,72	1
інші	234,24	2

Для їх виготовлення використовувалася сировина переважно з Бистріївського, Буківського та Юліївського родовищ (табл. 1.13). Всього було експортовано 14,7 тис. куб. м продукції на суму 18,2 млн. доларів США.

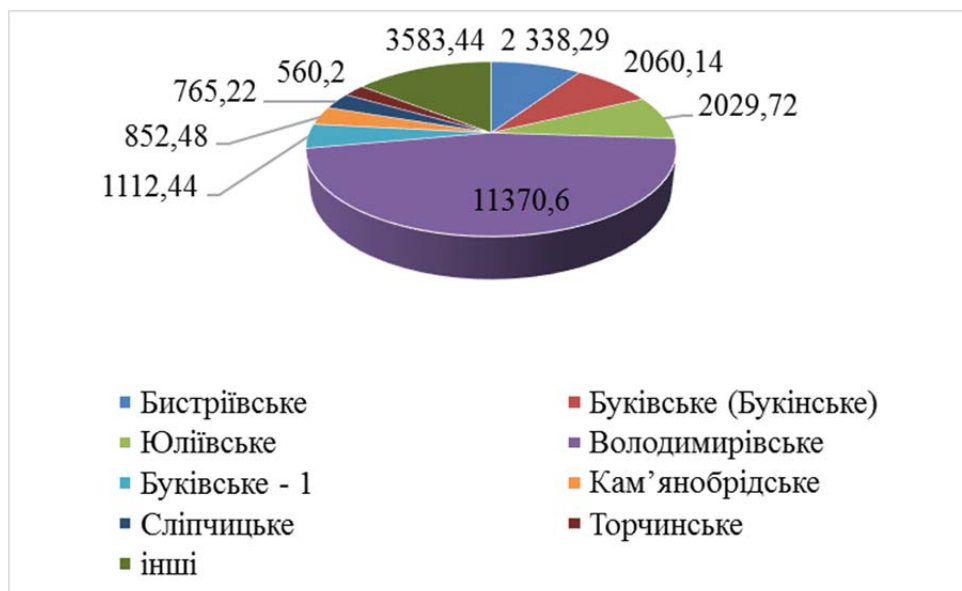


Рис. 1.13. Експорт плит та виробів з габро по родовищам

1.2. Особливості гірничих робіт при видобутку блоків природного каменю

Виходячи з вимог, що пред'являються до блоків природного каменю на відміну від видобутку інших корисних копалин (вугілля, руд, гравію тощо), до специфічних особливостей відкритої розробки родовищ блочного каменю можна віднести:

- необхідність обмеження руйнівних напружень і їх концентрації в певних місцях в площині відокремлення моноліту чи блоку природного каменю, що відділяється від масиву;
- наявність великих блоків і монолітів, що відокремлюються від вибою вимагає засобів механізації, які пристосовані для штучних вантажів великої маси;

- розробка родовищ каменю, як правило, пов'язана з видобутком «супутньої» гірничої маси (відходів), кількість якої часто в кілька разів перевершує обсяг видобутого блочного каменю (в 2–10 разів перевищує вихід блоків);

- застосування спеціальних засобів механізації видобутку каменю висуває специфічні вимоги до параметрів кар'єру;

- розкривні роботи, як правило, мають меншу питому вагу в загальному комплексі робіт на кар'єрі;

- поліпшення якості природного каменю в міру поглиблення кар'єру обумовлює доцільність розвитку відкритих гірничих робіт в глиб родовища.

Головним недоліком є обмежена кількість засобів механізації для ефективної розробки міцних гірських порід. Для підвищення продуктивності та зниження собівартості блоків необхідне подальше вдосконалення способів відділення каменю від масиву і розробка прогресивних технологічних схем для експлуатації родовищ міцних порід, що знаходяться в складних гірничо-геологічних умовах. Видобування блоків природного каменю здійснюється, як правило, в одну або дві стадії.

Двостадійна розробка родовищ може застосовуватися в двох випадках:

- коли відсутні необхідні технічні засоби для отримання блоків каменю необхідного розміру безпосередньо з масиву;

- коли двостадійна розробка економічніша і дозволяє зменшити витрати на додаткове обладнання та технологічні операції з розбирання монолітів на блоки або на шматки необхідного розміру.

У другому випадку має дотримуватися умова:

$$P' - (P_d'' + P_p'') > P_v'', \quad (1.1)$$

P' — питомі витрати на видобуток 1 м³ блоків при одностадійній розробці, грн./м³;

P_d'' — питомі витрати на видобуток 1 м³ блоків при двостадійній розробці, грн./м³;

P_r'' – питомі витрати на розколювання або розпилювання моноліту, грн./м³;

P_v'' – додаткові питомі витрати на допоміжні роботи, які пов'язані з двостадійною розробкою, грн./м³.

Додаткові витрати, що виникають при двостадійній розробці, залежать від ряду чинників, але, в першу чергу, від виходу готових блоків з моноліту. Ці витрати можуть бути визначені з виразу:

$$P_v'' = P_{тр} + P_{п} + P_o \times (1 - k_{вих}) \quad (1.2)$$

$P_{тр}$ – питомі витрати на транспортування блоків до місця пасерування, грн./м³;

$P_{п}$ – питомі витрати на додаткові операції з навантаження і розвантаження блоків, грн./м³;

P_o – питомі витрати на прибирання відходів гірничої маси, що отримуються в процесі розколювання заготовок грн./м³;

$k_{вих}$ – коефіцієнт виходу продукції із заготовок.

Видобуток блочного каменю за специфікою технологічних процесів та механізацією робіт істотно відрізняється від видобутку інших корисних копалин. Під час видобутку блочного каменю застосовують особливі варіанти розкриття і системи розробки, комплекти розкривного і добувного обладнання, засоби навантаження блочного каменю.

Природні та економічні передумови розробки родовищ блочного каменю дозволяють оцінити і вирішити такі питання:

- встановлення кондицій для родовищ блочного каменю;
- оцінка тріщинуватості і важкості розробки природного масиву;
- визначення виробничої потужності підприємств з видобутку блочного каменю;
- проектування режиму гірничих робіт;
- складання календарного плану гірничих робіт.

Мінімально допустимий коефіцієнт виходу товарних блоків та граничний коефіцієнт розкриття суттєво впливають на показники кондицій.

Під мінімально допустимим коефіцієнтом виходу блоків розуміють такий вміст блоків необхідних об'ємів, який забезпечує рентабельну діяльність гірничого підприємства.

Характерною особливістю розглянутих родовищ [59] є дослідно-промислова розробка з метою уточнення окремих гірничо-геологічних, технологічних, еколого-геологічних та інших параметрів, необхідних для оцінки кількості та якості виявлених запасів корисних копалин, або з метою експериментальної перевірки нових технологій, технічних засобів і методів видобування мінеральної сировини, створених у результаті проведених науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт.

Виробничу потужність підприємств з видобутку блочного каменю приймають, виходячи з потреби у готовій продукції та забезпеченості запасами запланованого до розробки родовища. Якщо кар'єр з видобутку блоків працює в комплексі з каменеобробним цехом або заводом, то номенклатура їх продукції та виробничі потужності мають бути взаємопов'язані.

Режим гірничих робіт на блочному кар'єрі встановлюється шляхом ізометричного аналізу кар'єрного поля, при якому визначаються обсяги розкривних і видобувних робіт по рокам і етапам існування кар'єру. Вихідним матеріалом для визначення режиму гірничих робіт має бути гірничо-геометрична модель родовища, що представляє сукупність графічних, аналітичних та текстових матеріалів, що відображають об'єктивну інформацію про структурні особливості масиву.

Глибина та інші геометричні розміри кар'єрів блочного каменю мають бути такими, щоб при видобутку блоків каменю, переробці некондиційної сировини і околу скельного розкриття на щебінь або іншу продукцію робота підприємства була рентабельною.

Під час складання календарного плану гірничих робіт, основну увагу необхідно приділяти розподілу видобувних і підготовчих робіт у просторі та

часі, оскільки розкривні роботи на кар'єрах блочного каменю не є домінуючими.

Під час видобутку блочного каменю використовують закономірності будови і зміни властивостей природних масивів і враховують вплив зовнішніх факторів. Розкриття робочих горизонтів, відокремлення і переміщення гірської маси мають проводитися так, щоб забезпечувалося повне збереження монолітності і декоративних властивостей видобутого каменю.

Обираючи спосіб розкриття родовищ блочного каменю, в першу чергу, враховують рельєф поверхні і гірничо-геологічні умови розробки: тип і розміри покладу корисних копалин, потужність розкривних порід тощо. Найбільш сприятливі умови мають родовища рівнинного типу з мінімальними обсягами розкривних порід.

Поряд з природними чинниками значний вплив на вибір способу розкриття роблять технологічні та виробничі чинники: потужність каменедобувного підприємства, термін його служби, застосована система розробки, наявність і склад підйомно-транспортних засобів, розташування вантажних пунктів та складів готової продукції, вимоги споживачів до розмірів блоків тощо.

Значне число факторів, що впливають на рішення зазначеної задачі, визначає розмаїття способів розкриття на блочних кар'єрах. Вибір раціонального способу розкриття здійснюється на основі техніко-економічного порівняння варіантів. Перевага надається тому варіанту, який найбільш повно задовольняє основним технічним та економічним вимогам.

На кар'єрах блочного каменю обсяги розкривних робіт незначні, а на перше місце за трудомісткістю і складністю організації висуваються видобувні роботи. У зв'язку з цим, для блочних кар'єрів більш прийнятна класифікація розробки за В.В. Ржевським. Основними ознаками якої є напрям виймання в плані та профілі, а також місце розташування відвалів. На ефективність системи розробки в цьому випадку впливають такі чинники: положення покладу в

просторі; напрям виймання шарів корисної копалини; розташування заходки щодо фронту гірничих робіт тощо.

Технологічні схеми реалізації гірничих робіт під час видобутку блочного каменю досить різноманітні. Вибір структур механізації, що визначають технологічні схеми, залежить від умов залягання корисних копалин, мінералогічного складу і фізико-механічних властивостей масиву, який розробляється, проектної потужності підприємства.

1.3. Стан питання з видобутку блочного природного каменю дисковими машинами

У дослідженнях академіків Ржевського В.В., Трубецького К.Н. [4–6] розглядаються основні питання розвитку галузі видобутку і переробки будівельних матеріалів. Питанням технології розробки родовищ природного каменю присвячені роботи Косолапова А.І., Бакка М.Т., Карасьова Ю.Г., Соболевського Р.В. [7–11].

Питання оцінки якості і властивостей природного каменю і масиву викладені в роботах Бакка М.Т., Казаряна Ж.А., Анощенко М.М., Сичова Ю.І. [12–11].

Вивченню різання природного каменю алмазним інструментом присвячені роботи [13–15] Першина Г.Д., Бичкова Г.В., Коробійчука В.В., Гурова М.Ю., Давтяна К.Д., Левковського Г.Л. Предметом досліджень даної роботи є спосіб відділення блоків міцних порід від масиву з використанням дискового різання.

В технології видобутку основні трудовитрати і матеріальні витрати припадають на процес підготовки блоків до виймання, під яким розуміється каменевидобування – спосіб відділення монолітів (блоків) від масиву. На частку цього процесу припадає 60–80 % трудовитрат і 60–70 % частки в собівартості. Тому найбільшу увагу в аналізі приділено дослідженням способів відділення блоків.

Масив природного каменю характеризується фізико-механічними властивостями, а також тріщиноватістю. Дослідження щодо впливу міцнісних властивостей природного каменю на технологічні параметри роботи видобувного обладнання наведені в роботах [16–25]. У роботах [16–18, 25] запропонована теорія руйнування породи, що ґрунтується на енергетичному принципі. На підставі даної теорії енергосилові параметри різання залежать від енергоємності природного каменю. У роботах [26–29] в якості визначальних властивостей масиву, що впливають на технологічні параметри алмазно-канатного різання, виділяються комплексна твердість природного каменю і твердість по штампу. В роботі [27] рекомендується визначати продуктивність алмазно-канатного різання при переробці блоків на стаціонарних верстатах, використовуючи графічний метод номограм.

У роботах [30–33] розглянуті технології та обладнання, що використовуються під час видобутку природного каменю.

Аналіз даних робіт показав, що відділення монолітів, блоків каменю від масиву гірської породи є найбільш трудомістким процесом при розробці родовищ природного каменю і в значній мірі саме цей процес має найбільший вплив на якість видобутої сировини і на собівартість продукції.

Буропідричний спосіб підготовки блоків до виймання є одним з найпоширеніших і широко використовується на кар'єрах міцних порід природного каменю. Вибухові роботи спричиняють негативний вплив на відокремлюваний від масиву моноліт. Водночас зона порушення монолітності природного каменю поширюється на 10–15 см при використанні шпурового способу з вибуховою підготовкою блоків до виймання [30]. Площини блоків при даному способі відділення блоків від масиву виходять нерівними зі слідами шпурового інструменту на них. Таким чином, при розпилюванні блоків природного каменю на штрипсових рамних верстатах на каменеобробних підприємствах заповнення ставки неповне, що в значній мірі знижує продуктивність розпилювального обладнання. Також використання шпурового

способу передбачає буріння значної кількості вертикальних і горизонтальних шпурів.

Механічні способи відділення блоків від масиву є більш щадними порівняно з буропідливним способом. Ці способи дають можливість зберегти монолітність, декоративні якості, а також отримати блоки більш правильної геометричної форми. Серед механічних способів, які застосовуються на вітчизняних кар'єрах можна виділити наступні: клинові способи (гідроклинові), обурювання масиву, використання невибухових руйнуючих сумішей або складів (НРС), різання алмазно-канатною машиною. Різання алмазно-канатними машинами отримало найбільше поширення на кар'єрах блочного каменю. Застосовується в комбінації з бурінням шпурів (свердловин). Гідроклиновий метод видобування порівняно з вибухом має уповільнений характер, що дозволяє більш цілеспрямовано орієнтувати зусилля розколу в заданих напрямках, знизити шкідливий вплив динамічних навантажень на породу. Одним з механічних способів відділення моноліту від масиву при видобутку блочної сировини є вибурування блоків з масиву. Використання цього способу дозволяє в достатній мірі зберегти монолітність масиву, проте його широке поширення на кар'єрах стримується відносно великою трудомісткістю. Застосування даного способу зважаючи на його низьку продуктивність і високу собівартість не поширене на вітчизняних кар'єрах.

Спосіб відділення моноліту від масиву із застосуванням невибухових руйнуючих складів (НРС) широко застосовується на кар'єрах облицювального каменю. Даний спосіб має ряд переваг, незначний вплив на монолітність блоків забезпечує зниження енергоємності та матеріальних витрат порівняно з буропідливним і бурогідроклиновим способами відділення блоків природного каменю. Основним обмеженням, при використанні НРС на кар'єрах природного каменю, є їх ненадійна робота при низьких температурах, які мають місце протягом значного періоду часу на території України.

Роботи [30–33] присвячені питанням застосування канатного різання. Аналіз даних робіт показав, що одним з перспективних способів відділення

блоків від масиву природного каменю є різання каменю за допомогою видобувних машин. Видобування блоків природного каменю дисковими машинами набуває широкого поширення при розробці гранітних кар'єрів. Застосування ж зазначеного способу відділення блоків від масиву при розробці родовищ міцних порід поки не знайшло широкого застосування на території України, хоча в Китаї даний спосіб активно впроваджується. Основним недоліком даного способу, що перешкоджає його широкому впровадженню, є необхідність розкриття значних площ кар'єру та обмеження висоти моноліту в 1,3 м.

Великий обсяг втрат і відходів при розробці родовищ міцних порід обумовлений геологічними особливостями масивів, тобто наявністю систем тріщин, які розбивають масив на природні окремістості. Таким чином, здійснити вибір раціональної технології і обладнання для видобутку блоків міцних порід неможливо без дослідження закономірностей утворення втрат і відходів.

При видобутку природного каменю частка кількісних втрат незначна, порівняно з якісними втратами природного каменю. Значення останніх втрат може досягати до 80 %. Кількісні втрати можуть утворюватися в процесі відділення блоку (моноліту) від масиву, його вийманні, переміщенні, транспортуванні та при інших процесах.

Застосування буропідривного, буроклинового способів відділення блоків від масиву обумовлює як великі кількісні, так і якісні втрати сировини.

У літературі є численні лабораторні дослідження щодо різання гранітів та природних каменів. Наприклад, у дослідженні Ertingshausen W. [34] було використано дисковий верстат мостового типу з потужністю двигуна 18,5 кВт. Даний верстат мав діаметр робочого органу 600 мм і швидкість різання 45 м/с. Глибина різання на червоному граніті Коломбо становила від 10 до 60 мм. Результати цього дослідження продемонстрували, що енергоспоживання було меншим при глибині різання менше 25 мм, при більшій глибині спостерігалось підвищене зношення інструменту.

З іншого боку, Konstanty J. [35] досліджував вплив режимів різання на зношення сегмента дискової пилки. У цьому контексті Konstanty J. висунув декілька рекомендацій щодо збільшення терміну служби пилок в протилежних напрямках різання. В іншому дослідженні [36] було встановлено величину зношення різних типів дискових пил. Unver B. [37] розробив емпіричну формулу для прогнозування питомого зношення алмазного інструменту та продуктивності різання граніту. На основі результатів дослідження Unver B. було встановлено взаємозв'язки між зношенням алмазних напайок пилки та розміром кварцового зерна, середнього розміру зерна плагіоклазу. У дослідженні, яке було проведене Luo S.Y. [38] було оцінено зношування алмазного сегмента, яке відбулося під час різання дисковими пилами твердого та відносно м'якого граніту. У дослідженні Luo S.Y. використовував дискові пили діаметром 300–350 мм зі швидкістю різання – 30–35 м/с та глибиною різання – 20–30 мм. На основі результатів дослідження було оцінено вплив алмазного порошку на ефективність процесу під час різання твердого та відносно м'якого граніту.

У дослідженнях Webb S.W., Jackson W.E. [39] було оцінено взаємозв'язок між зношенням дискової пилки та силами різання під час різання граніту. У цих дослідженнях було встановлено зв'язок між нормальною силою різання та тангенціальною силою різання. У дослідженні, яке було проведено Xu X. [40], було оцінено взаємодію, яка відбувається між природним каменем та алмазним порошком сегментів дискових пил. Також в даному дослідженні було проаналізовано вплив цієї взаємодії на енергоємність різання. На основі результатів дослідження Xu X. прийшов до висновку, що велика частина енергії різання була втрачена в результаті тертя між природним каменем і алмазним порошком. В дослідженнях Sun L., Pan J., Lin C. [41] проводилися випробування щодо нового типу матриці та продуктивності різання пилки. Під час дослідження використовувалася дискова пилка діаметром 105 мм, та було встановлено, що додавання ниткоподібних кристалів SiC до алмазних напайок приводить до підвищення ефективності різання.

У дослідженні Li Y. та ін. [42] автори запропонували новий економічно вигідний метод різання гранітних матеріалів алмазним інструментом. За результатами дослідження було встановлено, що високі показники зносостійкості алмазного сегмента залежать від якості охолодження алмазних напайок та якості зв'язки алмазного сегмента. Використання сплаву Ti–Cr приводить до зменшення тертя під час роботи пилки.

В дослідженнях Xu X. та ін. [43] виконано кількісну оцінку сили і навантаження, що діють на алмазний порошок алмазного сегмента під час різання двох різновидів граніту дисковою пилкою. За результатами цього дослідження було встановлено, що зношення алмазної напайки було пов'язано з високими температурами, що утворюються в точці різання.

Di Pilo A., Togna A. [44] запропонували теоретичну модель опису процесу зношення дискових пил. Відповідно до цієї моделі, зв'язка алмазної напайки має не лише добре зчеплюватися з алмазним порошком, але також зношуватися зі сталою швидкістю, що дозволить забезпечити ефективність різання каменю дисковими пилами. У дослідженні Wei X., Wang C.Y., Zhou Z.H. [45], використано метод нечіткого ранжирування для оцінки пилимості граніту різних типів. В даному дослідженні враховувалася твердість граніту, міцність на стиск, абразивність, розмір зерна кварцу та вміст кварцу. Було встановлено, що метод нечіткого ранжирування може ефективно визначати ступінь взаємозв'язку між фізико-механічними властивостями природного каменю та ступенем зношення інструменту. В експериментах Xu X. та ін. [46] були досліджені сили, що діють на дискову пилку під час різання граніту. За результатами дослідження глибина різання була основним фактором, який впливав на тангенціальні та нормальні складові сили, а ефект глибини різання був більш значущим, ніж робоча подача різання. Незважаючи на значні відмінності в процесі розпилювання різного типу природного каменю співвідношення компонентів сил були меншими, ніж очікувалися.

Ersoy A., Buyuksagic S., Atici U. [47] провели експериментальне дослідження щодо зносостійкості дискових пил під час різання абразивних та

твердих типів гірських порід. У контексті свого дослідження вони розробили статистичну модель прогнозування зношення дискових пил, яка враховувала питому енергію різання, вміст кремнезему в гірській породі, міцність на згин та параметри твердості. Delgado N.S. та ін. [48] оцінювали взаємозв'язок між продуктивністю різання рожевого граніту Порріно та мікротвердістю за Віккерсом. Результати дослідження продемонстрували значну кореляцію між продуктивністю різання та твердістю гірської породи.

Wright D.N. та Cassapi V.B. [49] також провели дослідження, щоб передбачити пилимість твердих порід, таких як граніт. З цією метою вони оцінювали вісім різних типів гірських порід у своєму дослідженні. Виходячи з результатів свого експерименту, вони дійшли висновку, що між мінералогічно-петрографічними характеристиками гірських порід та зношенням алмазної дискової пилки та витратою енергії під час різання не було суттєвого зв'язку. З іншого боку, було встановлено тісний взаємозв'язок між силами, що діють на дискову пилку, зношенням напайок пилки та витратою енергії під час різання.

У дослідженні Wright D.N. [50] оцінювалося зношення двох типів алмазних сегментів при розпилюванні Корнішського сірого граніту. Результати дослідження продемонстрували, що зношення алмазної напайки було пов'язано з розподілом алмазного порошка в сегменті. Хаусбергер П. досліджував мінералогічно-петрографічний склад гірських порід і оцінював їх фізичні та механічні характеристики. Він вивчав шматки, які відрізалися від гірських порід під час різання. Мінералогічно-петрографічний аналіз, який проведений в межах цього дослідження, показав, що гірська порода, яка містить понад 5 % кварцу розпилюється складніше.

S.Y. Luo, Y.S. Liao [51] досліджували зношення алмазного порошка на сегментах дискової пилки під час різання індійського червоного граніту та оцінювали, як алмазний порошок впливає на працездатність дискової пилки. Випробування показали, що при однаковій концентрації алмазів у сегментах, сегменти з дрібнішими алмазними порошками демонструють більш високі показники різання.

Ersoy A. та Atici U. [52] різали дисковими пилками діаметром 400 мм дуже тверді та абразивні гірські породи. Результати дослідження продемонстрували, що збільшення глибини різання приводить до зменшення питомої енергії різання. На додаток до цього спостерігався взаємозв'язок між характеристиками.

Лuo S.Y., Liao Y.S. [53] в своїх дослідженнях використовували три типи алмазних дискових пилок з різною твердістю зв'язки алмазних сегментів та різною концентрацією алмазного порошку. Було оцінено вплив властивостей алмазного сегмента на швидкість зношення. Результати дослідження продемонстрували, що сегменти з гладкою поверхнею алмазного порошку та високою твердістю зв'язки продемонстрували кращі показники під час різання граніту.

Buyuksagis I.S. [54] тестував режими різання дисковою пилкою «за подачею» та «проти подачі». В результаті дослідження було встановлено, що метод «проти подачі» приводить до зниження питомої енергії різання та питомих значень зношення інструмента порівняно з методом різання «за подачею». Крім того, результати дослідження показали, що більш високі значення питомої енергії призводили до більш високого рівня питомого зношення інструмента під час різання.

Xu X., Yu Y. [55] проводили різні експерименти з метою отримання низького зношення інструменту, низького споживання енергії та високої ефективності різання. В межах цих експериментів досліджували процес розпилювання граніту інструментом з алмазними напайками, з покриттям Ti–Cr, а характеристики різання зразків оцінювали з точки зору їх зносостійкості.

Огляд літератури свідчить про те, що вивчення процесів різання дисковими пилками є досить актуальним, в наукових колах тривають дослідження в рамках лабораторних експериментів. Bayram F., Yasitli N.E. [56] досліджували вплив на продуктивність різання таких параметрів, як діаметр пилки, концентрація алмазу на сегментах та глибина різання. Yurdakul M., Akdas H. [57] досліджували промислові процеси різання шести різних типів

карбонатних порід та розробили статистичну модель для прогнозування енергії різання. На основі різання Вуліанського червоного граніту, Zhang Z. M. та ін. [58] досліджували взаємозв'язок сили різання зі швидкістю подачі та глибиною різання.

Аналіз літературних джерел не виявив жодних досліджень, які б стосувалися дискових кар'єрних машин з великим діаметром диска. Всі попередні дослідження різання граніту проводилися в лабораторних умовах стаціонарними дисковими верстатами діаметром робочого органу до 600 мм.

Таким чином технологія видобутку блочного каменю дисковими машинами мало вивчена. Саме тому, у даній дисертаційній роботі детально розглядається дана технологія та обґрунтовуються втрати природного каменю при його відділенні від масиву за допомогою дискової машини.

Висновки до розділу 1

1. Світовий ринок природного каменю інтенсивно розвивається і, як очікується, в найближчі 25 років видобуток цього матеріалу зросте більш, ніж в 5 разів. Однак це призведе до загострення конкуренції в видобувній галузі, і в подальшому каменедобувні компанії будуть змушені безперервно підвищувати свою конкурентоспроможність, освоюючи все нові ринкові сегменти, що вимагатиме застосування принципово нових, адаптивних методик організації, керування і планування процесів виробництва з видобутку природного каменю.

2. Україна має вельми значний потенціал для нарощування споживання природного каменю, який буде освоюватися в міру підвищення життєвого рівня населення. З урахуванням створених в останні роки тенденцій, які передбачають зростання споживання природного каменю з темпами 10-12 % на рік, можна очікувати, що до 2025 р споживання даного матеріалу в країні складе не менше 7,5 млн. м² в рік.

3. Аналіз літературних джерел не виявив жодних досліджень, які б стосувались дискових кар'єрних машин з великим діаметром диска. Всі попередні дослідження різання граніту проводилися в лабораторних умовах стаціонарними дисковими верстатами з діаметром робочого органу до 600 мм.

РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ КРИТЕРІЇВ РАЦІОНАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИДОБУТКУ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ

2.1. Методи оцінки тріщинуватості

Під час оцінки потенційних можливостей родовища, технологічної придатності сировини, при вирішенні питань проектування гірничих робіт важливо знати плановий (теоретичний) вихід блоків з гірської маси. Дослідженнями встановлено і практикою підтверджено, що теоретичний вихід блоків цілком і повністю залежить від природної тріщинуватості родовищ корисних копалин. Першочергово впливають такі показники, як неортогональна система тріщин і відстані між тріщинами [60].

В даний час існує декілька методів оцінки блочності родовищ облицювальних каменів, які дають досить точні результати, а інші – лише наближенні.

Ці методи поділяються на такі види: статистичні, графоаналітичні, гірничо-геометричні, імовірнісні, дослідний видобуток, графостатичне і гранотектонічне моделювання.

Пріоритет у питанні прогнозування чисельної величини коефіцієнта виходу блоків з масиву гірських порід, який розбитий тріщинами, належить Б.П. Белікову [61]. Суть методу полягає в тому, що на будь-якій ділянці кар'єра або оголення виконується 100–200 вимірювань азимутів простягання і кутів падіння всіх без винятку тріщин, а також відстані між тріщинами на будь-якому інтервалі. При цьому блочність каменю оцінюється числом інтервалів більше 1 м. Отримані значення – число інтервалів на 10 м (перший коефіцієнт) і число інтервалів на 1 м (другий коефіцієнт), в сумі називаються коефіцієнтом частоти, записують на діаграму при відповідних максимумах, причому другий коефіцієнт ставлять в дужках. Статистична обробка виконаних вимірювань здійснюється шляхом побудови кругових діаграм тріщинуватості з використанням рівноплощинної сітки Вальтер-Шмідта. У підсумку виходить цифрова діаграма, в якій проводяться ізолінії щільності тріщин. Розрахунок

орієнтовного середнього розміру блоку ведеться шляхом перемноження середніх довжин інтервалів за трьома основними системами тріщин. Це для випадку, коли кути між головними максимумами наближаються до прямих. В іншому випадку, обсяг природного блоку визначається за формулами косокутних паралелепіпедів. До недоліків цього способу варто зарахувати той факт, що до обліку при визначенні блочності приймаються тільки три системи тріщин, а діагональні тріщини, які мають великий шкідливий вплив на блочність, в обліку не враховуються. Складання кругових діаграм в ізолініях – досить трудомісткий процес.

Різні графоаналітичні методи викладені в роботах І.М. Горбулева [62], А.І. Косолапова [63], Н.Н. Анощенко [64]. Сутність цих методів полягає в проектуванні площин тріщин на будь-яку зі сторін підготовленого до виймання об'єму каменю і вписування прямокутників у вільні ділянки. Частина стандартних каменів, які розсічені тріщинами є непридатними для отримання блоків. У підсумку, знаючи число розсічених каменів і цілих блоків, обчислюється аналітичним шляхом загальний відсоток виходу стандартних блоків з гірської маси. Викладені графоаналітичні методи також мають ряд недоліків. Системи тріщин, які складно пересікаються між собою проектується на якійсь одній геометричній площині (горизонтальній або вертикальній) і будуть достовірні лише для першого ряду блоків, які відокремлюються. Метод прийнятний для кар'єрів з видобутку блоків, що випилюються каменерізними машинами є неприйнятний для гранітних кар'єрів та інших подібних до них гірських порід, оскільки блоки, які видобуваються варіюють за об'ємом.

В роботах [65], [66] розглянуті, методи вивчення тріщинуватості за керном, які послужили підставою для розробки способів оцінки виходу блоків в наступних роботах [67–69].

Бакка М.Т. [70] запропонував гірниче-геометричний метод оцінки блочності. В якості основних кількісних показників оцінки тріщинуватості, що дають найбільшу інформацію про порушеність масиву, приймаються питома лінійна і площинна тріщинуватість. За результатами вивчення тріщинуватості і

закономірностей її розвитку визначаються поправочні коефіцієнти впливу тріщин на вихід блоків за спеціально запропонованими аналітичними залежностями. А загальний коефіцієнт визначається шляхом арифметичного множення, зазначених коефіцієнтів.

Геометричну характеристику блочності найкраще виконувати на спеціальному плані ізоблочності. Складаючи даний план ділянка родовища розбивається на блоки-ділянки правильної форми, для кожної з яких за вищевикладеною методикою обчислюється блочність, а її значення відноситься до геометричного центру блоку-ділянки. Потім за отриманими значеннями будується план блочності в ізолініях.

С.І. Подойніковим [71] запропоновані методи, які під час розрахунку коефіцієнта виходу блоків при видобутку їх різними способами враховують імовірнісний характер розподілу параметрів систем тріщин на основі теорії ймовірності. Рішення проблеми районування родовищ за блочністю знайшло відображення в роботах [72, 73]. Вибору напрямку розвитку фронту робіт з урахуванням орієнтації тріщин присвячені роботи [74, 75]. А.І. Косолаповим [76] встановлено вплив напруженого стану в масиві на коефіцієнт виходу блоків, а також запропонований відносний показник виходу блоків природного каменю [77].

Таким чином, для різних видобувних технологічних комплексів використовуються різні методики обрахунку блочності кар'єру.

2.2. Порівняння механічних технологій видобутку природного каменю

2.2.1. Розрахунок кількісних і якісних втрат при підготовці покладів до виймання за допомогою канатного різання

При видобуванні алмазною канатною машиною роботи ведуться за двостадійною системою розділення блоків природного каменю (рис. 2.1).

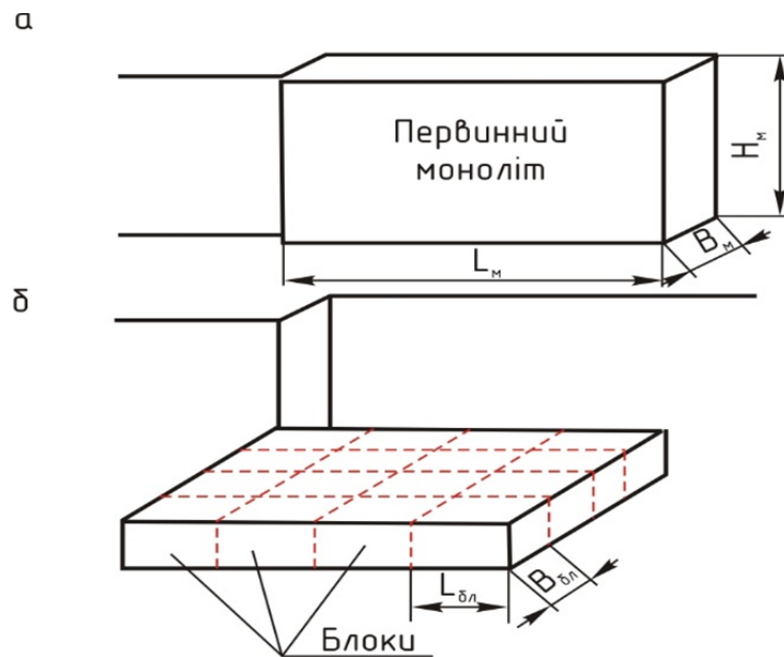


Рис. 2.1. Двостадійна система розділення масиву гірських порід із завалюванням первинного моноліту: а – відокремлення первинного моноліту; б – розділення заваленого первинного моноліту на блоки

Для заведення алмазного канату бурять дві зустрічні свердловини так, щоб вони сходилися в одній точці (рис. 2.2). В даному випадку буріння може відбуватися в горизонтальній і вертикальній площині при розпилюванні у вертикальній площині або дві свердловини в горизонтальній площині під час різання в горизонтальній площині [93].

Таким чином діаметр свердловин безпосередньо впливає на величину втрат природного каменю при видобуванні. Геометричні параметри моноліту теж впливають на кількісну оцінку втрат.

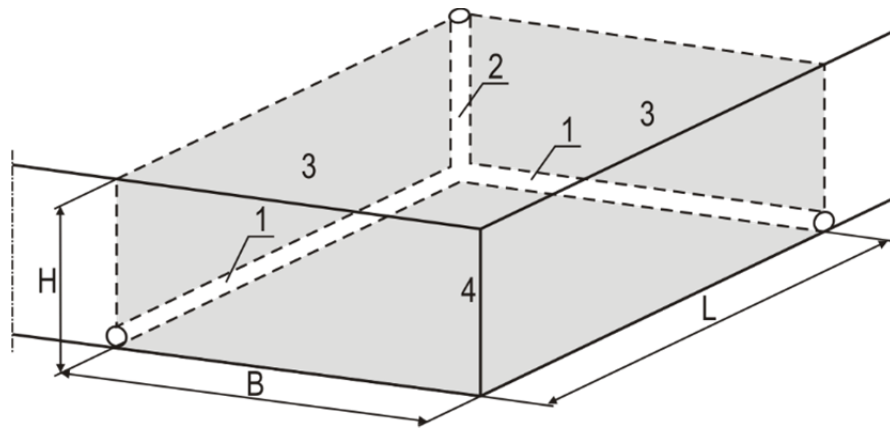


Рис. 2.2. Схема буріння зустрічних свердловин

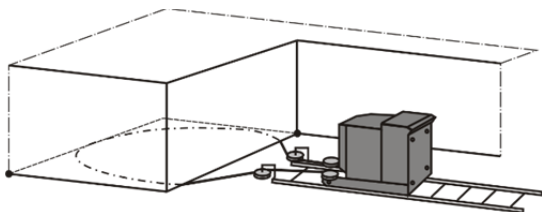
L – довжина моноліту; B – ширина моноліту; H – висота моноліту;

1 – горизонтальна свердловина; 2 – вертикальна свердловина; 3 – вертикальна площина різання; 4 – горизонтальна площина різання

В первинному моноліті першою ріжуть горизонтальну площину [78] потім вертикальні (рис. 2.3, а). В другу чергу ріжуть вертикальну сторону моноліту з найбільшою площею, в останню чергу ріжуть вертикальну сторону з найменшою площею. Після цього моноліт перекидають на подушку зі щебеню.

При висоті моноліту від 5 до 6 м, відбуваються втрати природного каменю при падінні моноліту за рахунок розпадання моноліту на менші шматки.

а



б

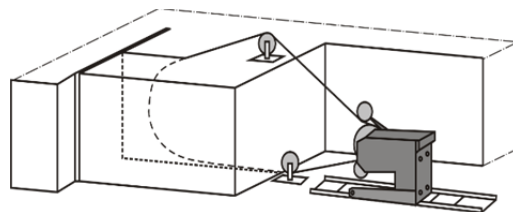


Рис. 2.3. Схема здійснення різання алмазно-канатною машиною:

а – горизонтальне різання, б – вертикальне різання

Розрахунок втрат природного каменю при видобуванні алмазно-канатною машиною:

$$V_{втр} = V_{м}^{втр} + V_1^{втр}, \text{ м}^3, \quad (2.1)$$

де $V_{м}^{втр}$ – втрати каменю при відокремленні моноліту від масиву, м^3 ;

$V_1^{втр}$ – сумарна площа площин розділення при розділенні первинного моноліту на блоки, м^3 .

Отже, втрати каменю при відокремленні моноліту від масиву при наявності в масиві природної пластової тріщини можна обчислити за наступною формулою:

$$V_{м}^{втр} = V_{к} + V_{я}, \text{ м}^3.$$

$$V_{к} = \sum_{i=1}^k S_{різ} b + \sum_{i=1}^n S_{св} L_{св}, \text{ м}^3, \quad (2.2)$$

де $S_{різ}$ – площа різ, м^2 ;

k – кількість площин різ, шт.;

b – ширина щілини, мм

$$b = d_{к} + t, \text{ м}, \quad (2.3)$$

де $d_{к}$ – діаметр циліндричних алмазних втулок. У наш час здебільшого застосовуються втулки діаметром 10,5; 11; 11,5 мм; t – ширина зазору між ріжучим канатом і бічними сторонами блоку, м. $t = 0,5$ мм.

$S_{св}$ – площа свердловини, яка пробурюється для заведення в масив канату, м²;

$L_{св}$ – довжина свердловини, м;

n – кількість свердловин, шт.

Отже, загальні кількісні втрати сировини, що обчислюються для одного відокремленого моноліту, дорівнюють:

$$V_{\kappa} = \frac{H \cdot (L + B) \cdot b}{2} + \frac{\pi \cdot D^2}{8} \cdot (L' + H' + B'), \text{ м}^3, \quad (2.4)$$

де H – висота пропилу, м.

Висота пропилу обчислюється за формулою:

$$H = H_{\text{м}} - D, \text{ м}, \quad (2.5)$$

де $H_{\text{м}}$ – висота моноліту, м;

D – діаметр свердловини, м;

L – довжина пропилу, м.

Довжина пропилу дорівнює:

$$L = L_{\text{м}} - D, \text{ м}, \quad (2.6)$$

де $L_{\text{м}}$ – довжина моноліту, м.

B – ширина пропилу, м.

Ширина пропилу дорівнює:

$$B = B_{\text{м}} - D, \text{ м}, \quad (2.7)$$

де $B_{\text{м}}$ – ширина моноліту, м

b – ширина щілини, мм;

t – ширина зазору між ріжучим канатом і бічними сторонами блоку, м;

L' – довжина повздовжньої горизонтальної свердловини, м. $L' = L_m - D$;

B' – довжина поперечної горизонтальної свердловини, м. $B' = B_m - D$;

H' – довжина вертикальної свердловини, м. При умові, що вертикальна свердловина пробурюється на всю висоту моноліту $H' = H_m$.

Відповідно формулу 3.31 можна подати у вигляді:

$$V_{к.р.} = \frac{(H_m - D) \cdot (L_m + B_m - 2 \cdot D) \cdot (d_k + t)}{2} + \frac{\pi \cdot D^2}{8} \cdot (L_m + H_m + B_m - D), \text{ м}^3. \quad (2.8)$$

Отже, об'єм кількісних втрат сировини при блоків природного каменю за допомогою алмазно-канатних каменерізальних машин у першу чергу залежить від площі різу (геометричних параметрів моноліту, що відокремлюється).

Проведені дослідження дозволили визначити залежність кількісних втрат від відповідних параметрів моноліту рис. 2.4.

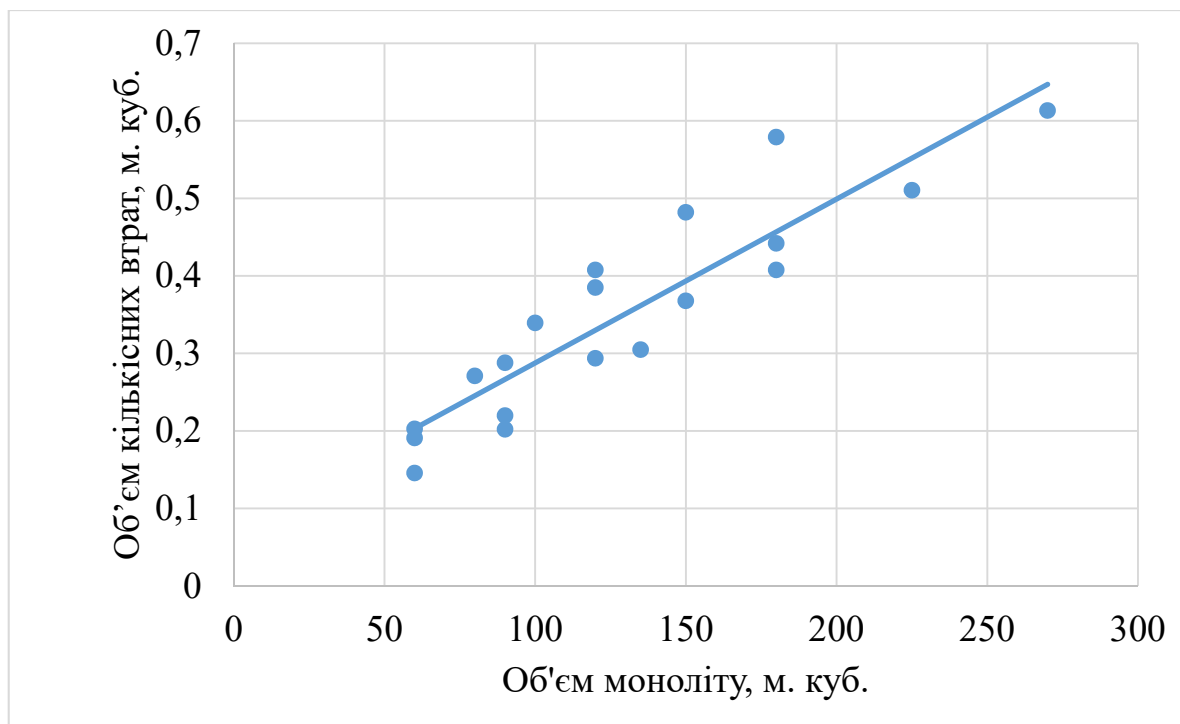


Рис. 2.4. Залежність кількісних втрат від об'єму моноліта

Якісні втрати [9] в свою чергу обумовлюються наступними факторами:

- відхиленням канату від заданої площини пропилу;
- втрати, що виникають внаслідок одностороннього зношування алмазонасних втулок та утворення нерівностей на поверхні;
- технологічні відхилення свердловин при їх збійці.

При підрахунку якісних втрат потрібно враховувати можливе відхилення бура від проектної осі свердловини через великий опір породи бурінню і неточністю установки бура.

Величина відхилення D визначається за формулою [9]:

$$D = 0,5 \frac{\sigma_{cm}}{d_{cv}}$$

де d_{cv} – діаметр свердловини, мм; σ_{cm} – міцність породи на стиск, МПа.

При цьому ширина зони втрат визначалась як:

$$B_{з.в.} = d_{cv} + 2DH, \text{ м}, \quad (2.9)$$

де d_{cv} – діаметр свердловини, м;

H – проектна довжина свердловини, яка дорівнює висоті моноліту, м;

D – абсолютне значення відхилення бура від заданої площини на один погонний метр буріння.

Основний вплив на відхилення штанги від вертикалі при бурінні має діаметр свердловини. На рис. 2.5 наведена залежність відхилення бурового інструмента для Покостівського гранодіорита від діаметра бурової коронки.

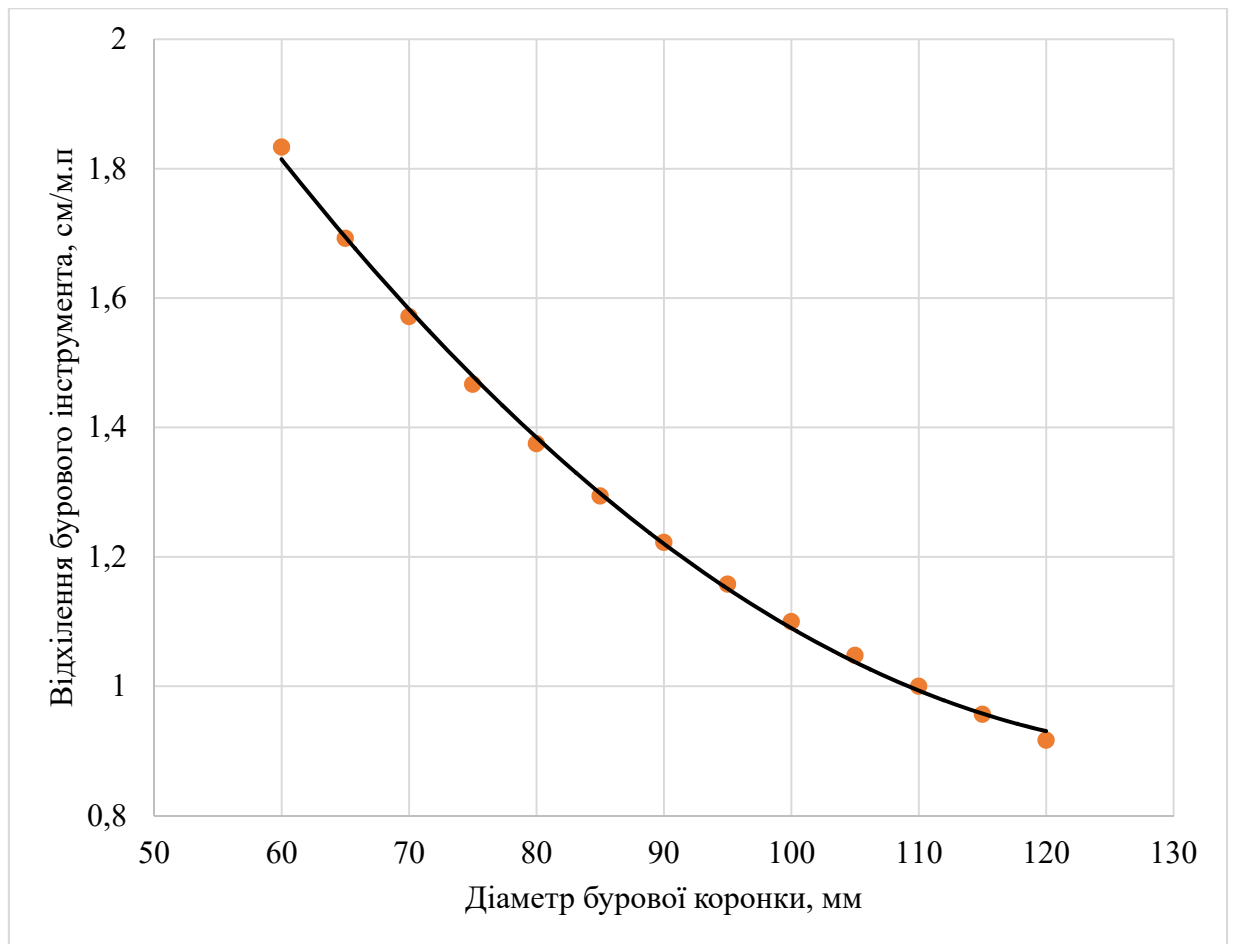


Рис. 2.5. Залежність відхилення бурового інструмента для Покостівського гранодіорита від діаметра бурової коронки

Внаслідок відхилення бурової штанги від вертикалі виникають якісні втрати природного каменю при алмазно-канатному різанні вертикальної площини, як це показано на рис. 2.6.

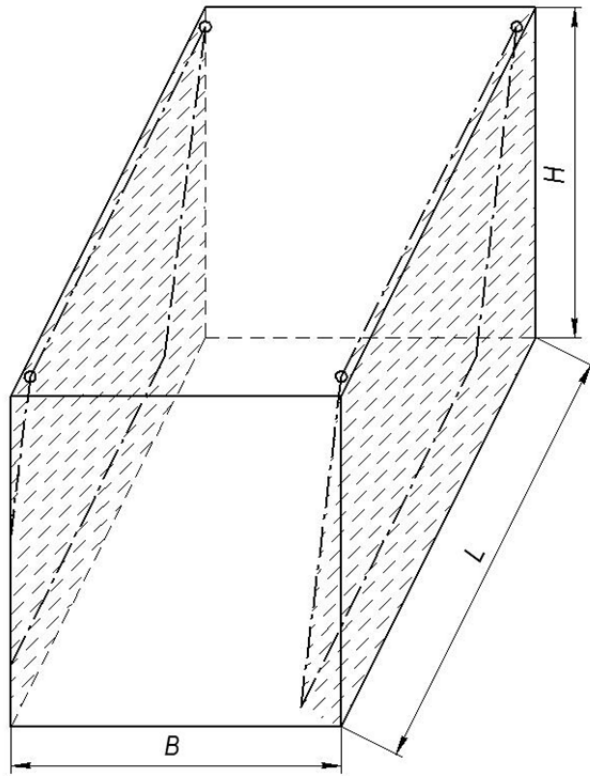


Рис. 2.6. Якісні втрати природного каменю на вертикальних гранях моноліту, які виникають при різанні алмазно-канатними машинами

Якісні втрати можливо порахувати за формулою:

$$V_{\text{я}} = V_{\text{в}} + V_{\text{г}}, \text{ м}^3, \quad (2.10)$$

де $V_{\text{в}}$ – об’єм якісних втрат при відокремленні вертикальних сторін моноліту, м^3 ; $V_{\text{г}}$ – об’єм якісних втрат при підрізанні підшви моноліту, м^3 .

Якісні втрати бокових граней будуть мати вигляд трикутника (рис. 2.7) один з катетів якого буде дорівнювати висоті моноліта, другий - відхиленню бурової штанги від вертикалі.

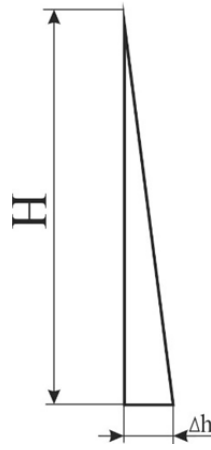


Рис. 2.7. Вигляд якісних втрат вертикальних граней моноліту, при різанні алмазно-канатною машиною

Об'єм якісних втрат при відокремленні вертикальних сторін моноліту розраховується за формулою:

$$V_{\text{в}} = 2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \Delta h \cdot H \cdot B \right) + 2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \Delta h \cdot H \cdot L \right), \text{ м}^3. \quad (2.11)$$

При застосуванні алмазно-канатної технології слід звернути увагу на довжину моноліту, так як через технологічні особливості установа бурових верстатів відступ від бокової грані складає 20–40 см, при випилюванні бокової грані моноліту алмазним канатом (рис. 2.8). Внаслідок чого наступний моноліт випилюється меншим за шириною на 20–40 см (рис. 2.9).

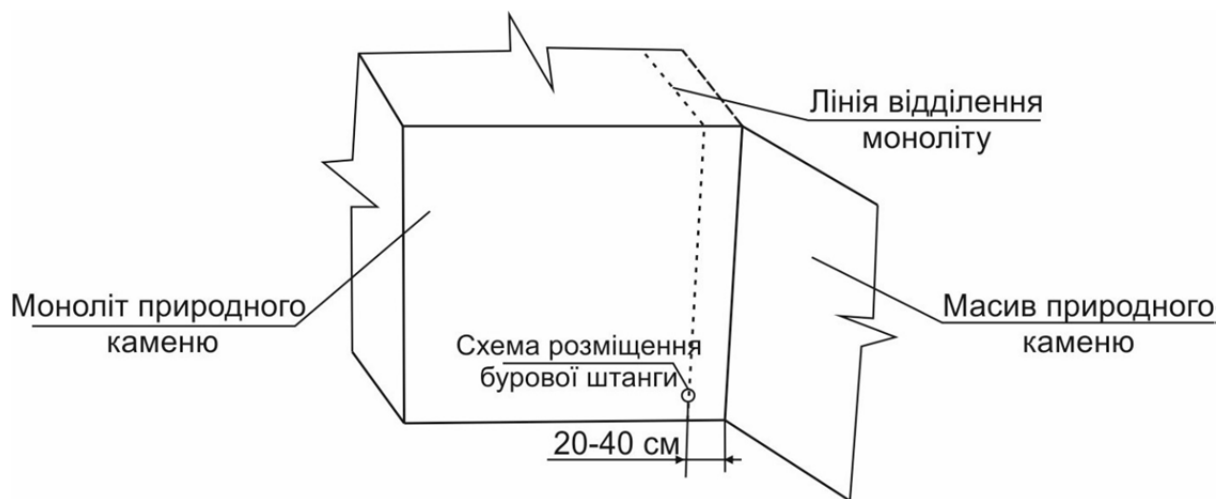


Рис. 2.8. Схема розміщення бурової штанги відносно моноліту при бурінні для заведення алмазного канату

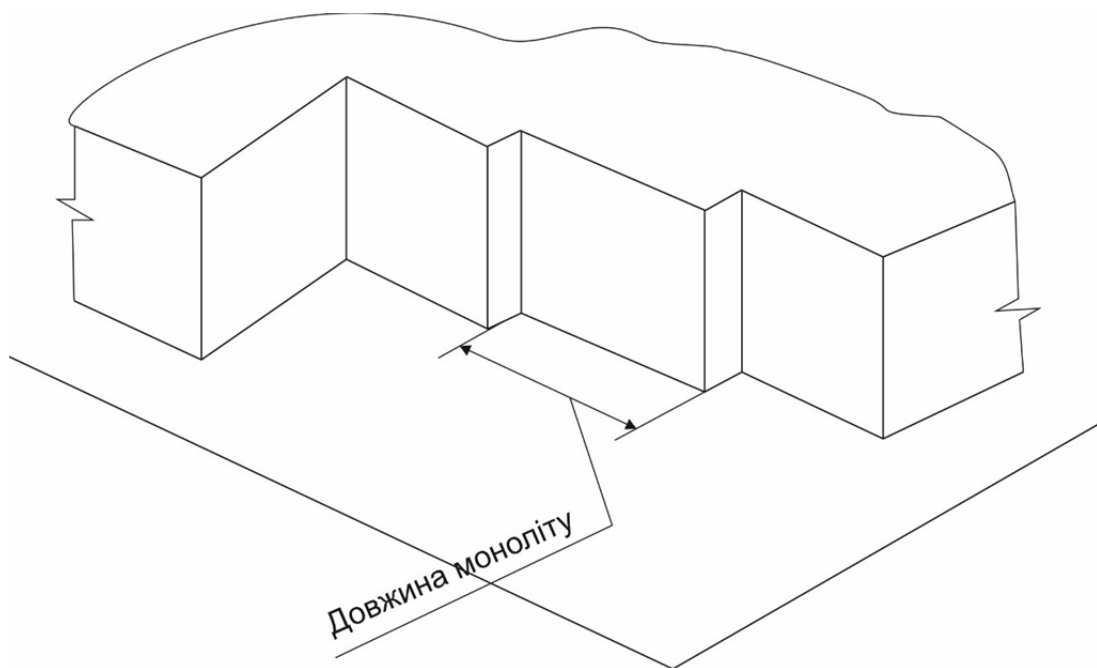


Рис. 2.9. Схема утворення вертикальних сходинок при різанні бокової грані моноліту алмазним канатом

З наведених схем [9] видно, щоб зменшити кількість вертикальних сходинок необхідно збільшити довжину моноліту. Максимальна довжина

моноліту обмежується довжиною штанг (для сучасних верстатів загальна довжина складає 10-15 м), а також максимально можливим контуром алмазного канату, який заводиться. Також слід відмітити, що при збільшенні довжини горизонтального буріння бурова штанга під дією власної ваги зміщується до низу на 1-2 см на 1 м.п. буріння (рис. 2.10). Таким чином при довжині моноліту 10 м штанга опуститься на 20 см.

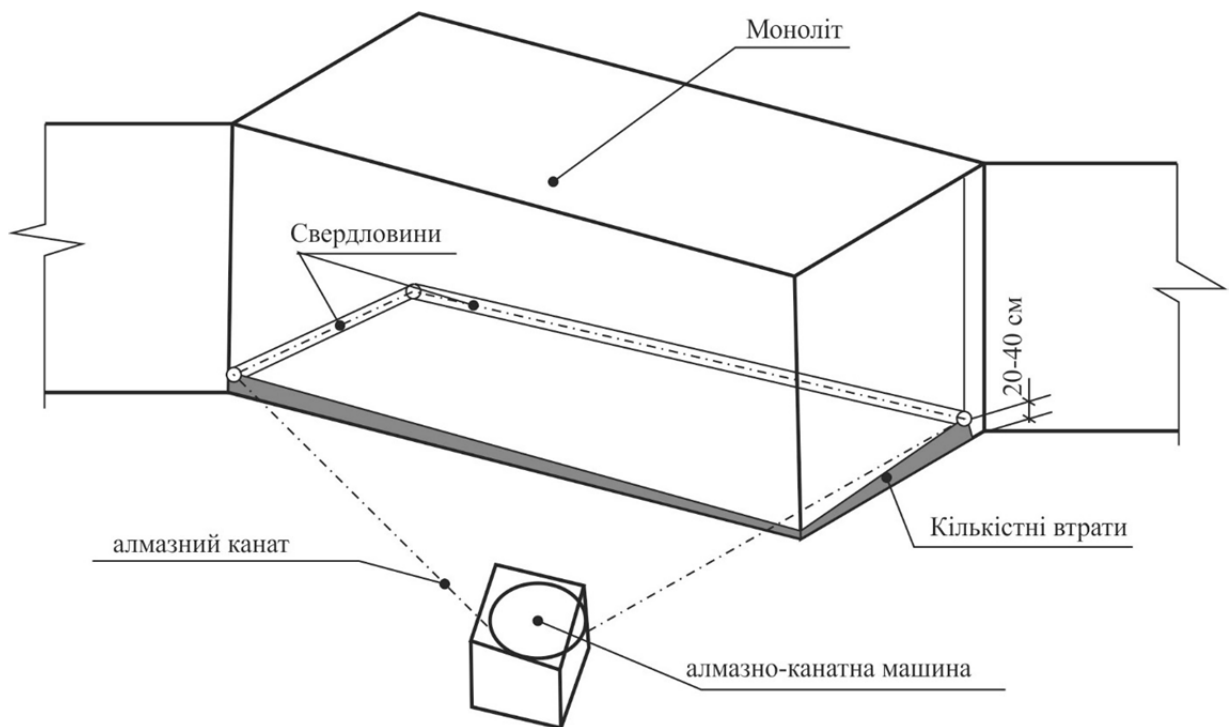


Рис. 2.10. Схема утворення втрат при різанні нижньої грані моноліту алмазним канатом

За допомогою програмного забезпечення, яке на даному етапі тестується і вдосконалюється Левицьким В.Г. [25] були обраховані якісні втрати, оскільки за допомогою геометричних формул неможливо визначити об'єм випалюваного моноліту через завалення двох кутів, що лежать в площинах АСМЛ та АВКЛ. В даній програмі використовувались координати точок вершин ребер моноліту, згідно яких проводились обрахунки об'ємів моноліту. Суть обрахунку заключається в наступному: за початок координат обирається одна з точок на

грані, в даному випадку нульова точка (рис. 2.11) від якої обраховуються координати точок моноліту, що випилюється. Точки А, М, N, К розміщуються на відстані 20 сантиметрів від масиву природного каменю, оскільки неможливо розташувати гирло шпура над точкою «нуль» через технологічні особливості станків.

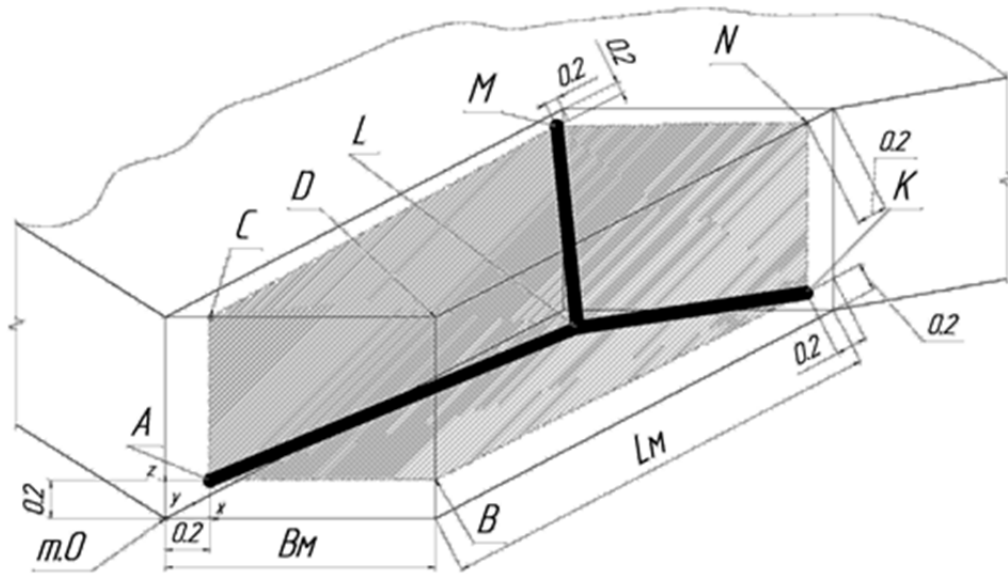


Рис. 2.11. Схема зображення координат точок моноліту, що випилюється, де: AL, ML, KL – свердловини, що взаємоперетинаються; 0 – початок координат

Точка С та В проектується перпендикулярно т. А. Точка D розміщується на вершині моноліту. Точка L – це точка перетину трьох свердловин, координати якої знаходяться наступним чином:

Координата z визначається за наступними формулами:

$$L(z)_1 = 0,2 - 0,01 \cdot L_m, \text{ (м)}; \quad (2.12)$$

$$L(z)_2 = 0,2 - 0,01 \cdot B_m, \text{ (м)}. \quad (2.13)$$

З поміж цих значень для обрахунків обирається найменше значення.

При видобутку каменю необхідно, щоб відокремлювані блоки були певної форми, а також, щоб відокремлюваний блок, і моноліт були, як можна менше пошкоджені.

На Покостівському кар'єрі використовують бурові коронки діаметром 85 мм. Кількісні втрати будуть залежити від глибини буріння та довжини моноліту. Залежність кількісних втрат від довжини моноліту та довжини свердловини для Покостівського гранодіориту при вертикальному бурінні наведено на рис. 2.12.

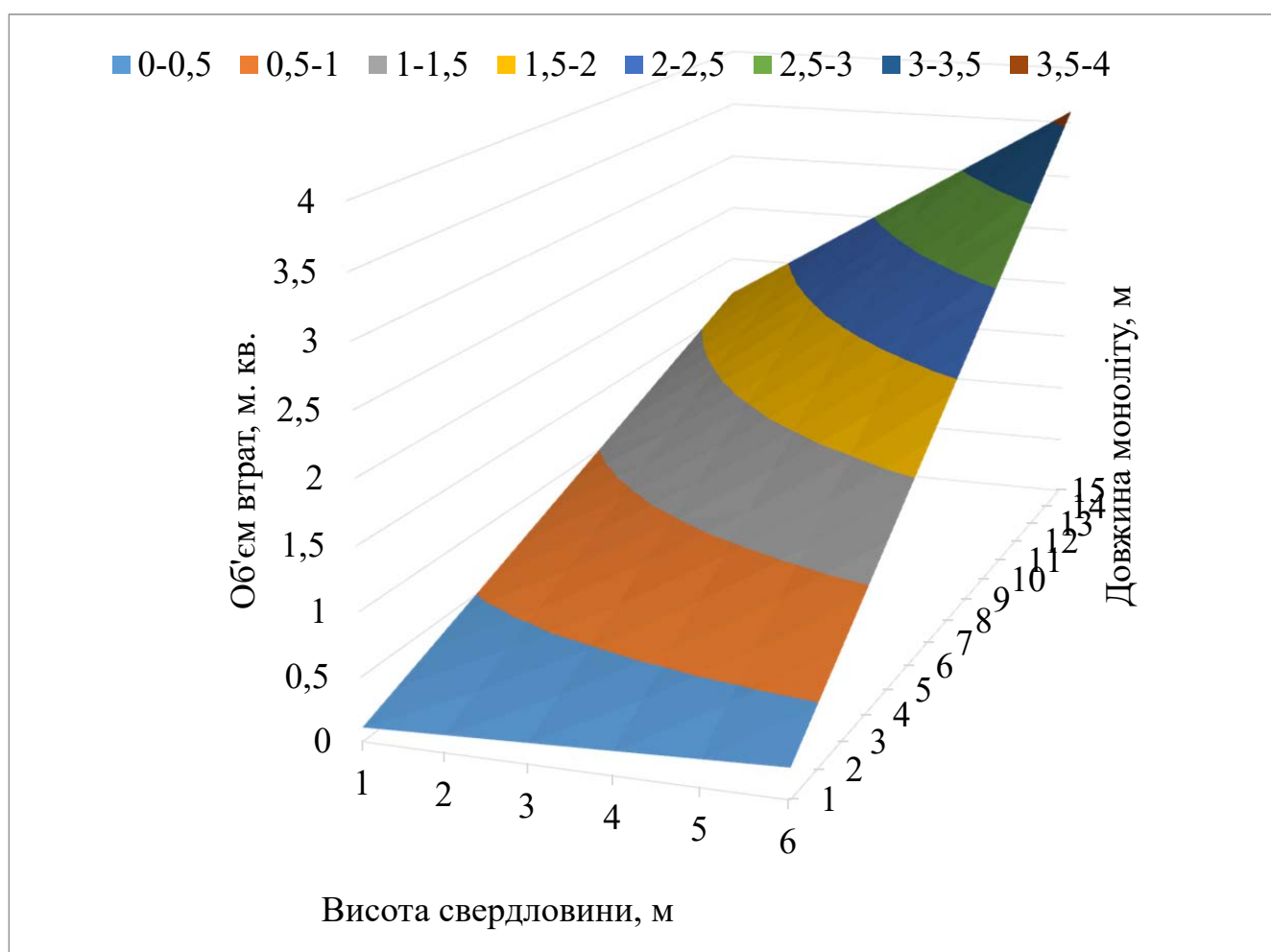


Рис. 2.12. Залежність якісних втрат від довжини моноліту та довжини свердловини для Покостівського гранодіориту при вертикальному бурінні

Питомі втрати будуть обраховуватися за формулою:

$$P = V_{\text{м}}^{\text{втр}} / V_{\text{мон}}, \text{ м}^3 / \text{м}^3, \quad (2.14)$$

де $V_{\text{мон}}$ – об'єм моноліту, м^3 .

На рис. 2.13 наведено залежність кількісних втрат від довжини моноліту при висоті видобувного уступу 6 м в межах Покостівського родовища гранодіоритів.

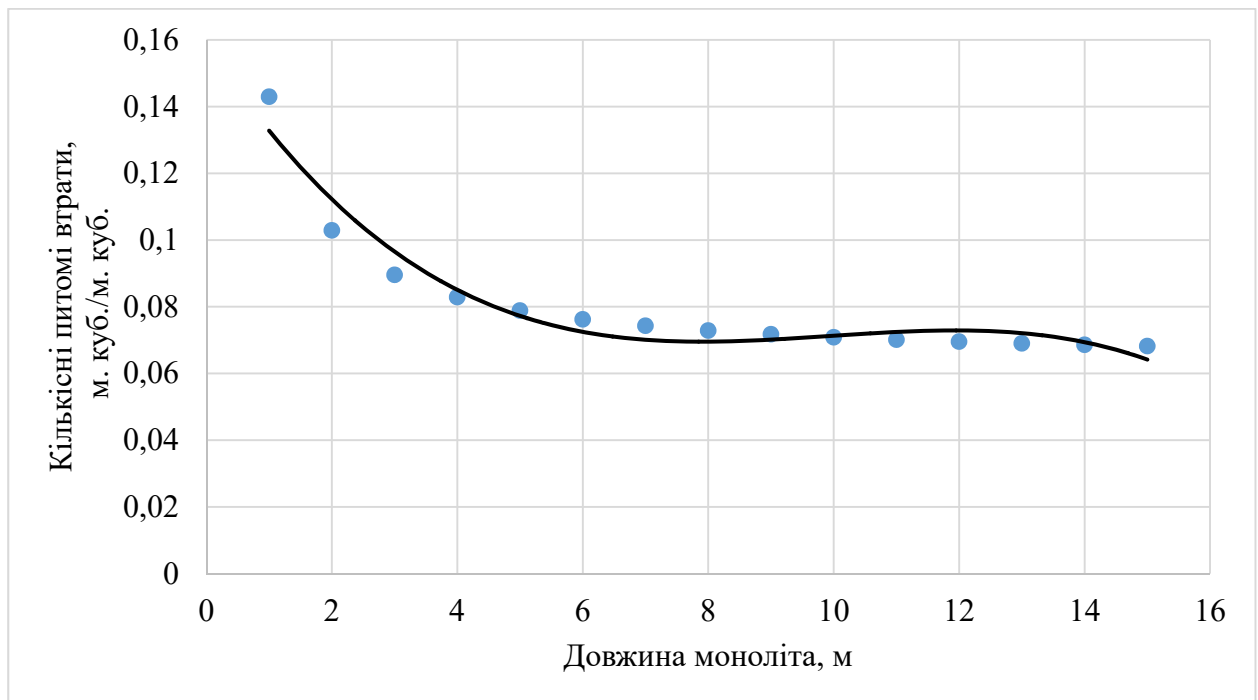


Рис. 2.13. Залежність кількісних втрат від довжини моноліту при висоті видобувного уступу 6 м в межах Покостівського родовища гранодіоритів

Порівняльний графік виникнення якісних і кількісних втрат у залежності від об'єму монолітів, що вилучаються з масиву при використанні алмазно-канатних каменерізальних машин, наведений на рис. 2.14.

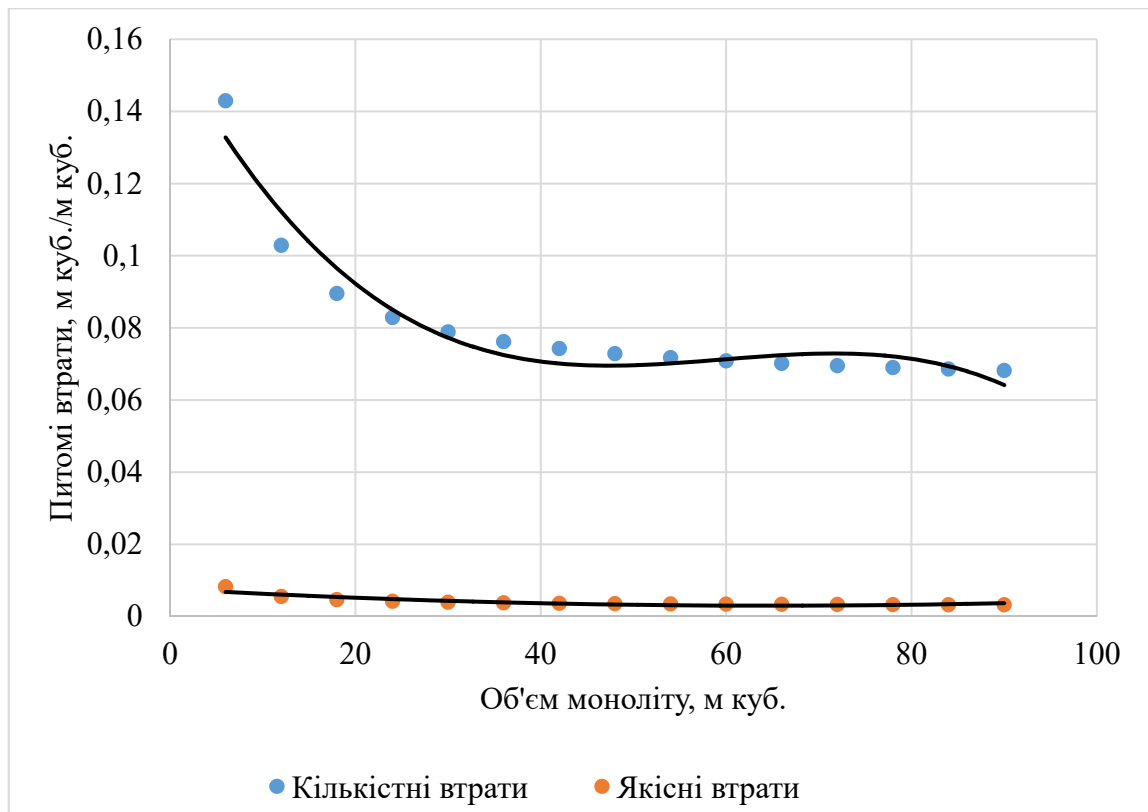


Рис. 2.14. Залежність питомих втрат від об'єму моноліту

Виконані дослідження дають змогу стверджувати, що зі збільшенням сумарної площини пропилю при використанні канатних каменерізальних машин спостерігається зростання як якісних, так і кількісних втрат декоративного каменю [9, 93]. Геометричні параметри моноліту більше впливають на виникнення кількісних втрат каменю, у той час, коли на виникнення якісних втрат має вплив характер зношуваності алмазних втулок під час різання і можливе відхилення бурової штанги від проектної осі свердловини.

2.2.2. Розрахунок кількісних і якісних втрат при підготовці покладів до виймання за допомогою дискових машин

Використання дискових пил передбачає ведення видобувних робіт уступами висотою 1,2 м. Найбільш оптимальними (мінімальними) параметрами моноліту для подальших розрахунків приймається моноліт довжиною 10–16,0 м та шириною 3 м при його висоті 1,2 м. Об'єм такого моноліту становить 36–57,6 м³.

Водночас, для ефективної роботи дискових машин необхідна велика площа робочого майданчику. Дана технологія видобування обмежує висоту блоків природного каменю 1,2 м. При різанні дисковими машинами масиву складно врахувати тріщинуватість масиву та включення природних дефектів.

Технологія видобутку блоків природного каменю за допомогою дискової машини в Китаї передбачає буріння горизонтальних шпурів для виколювання блоків. Застосування буро-клинової технології для створення горизонтальної площини на Покостівському родовищі призвело б до значних втрат природного каменю та ускладнило технологію відокремлення блоку від масиву. Тому для утворення горизонтальної площини було застосовано алмазно-канатну машину (рис. 2.15).

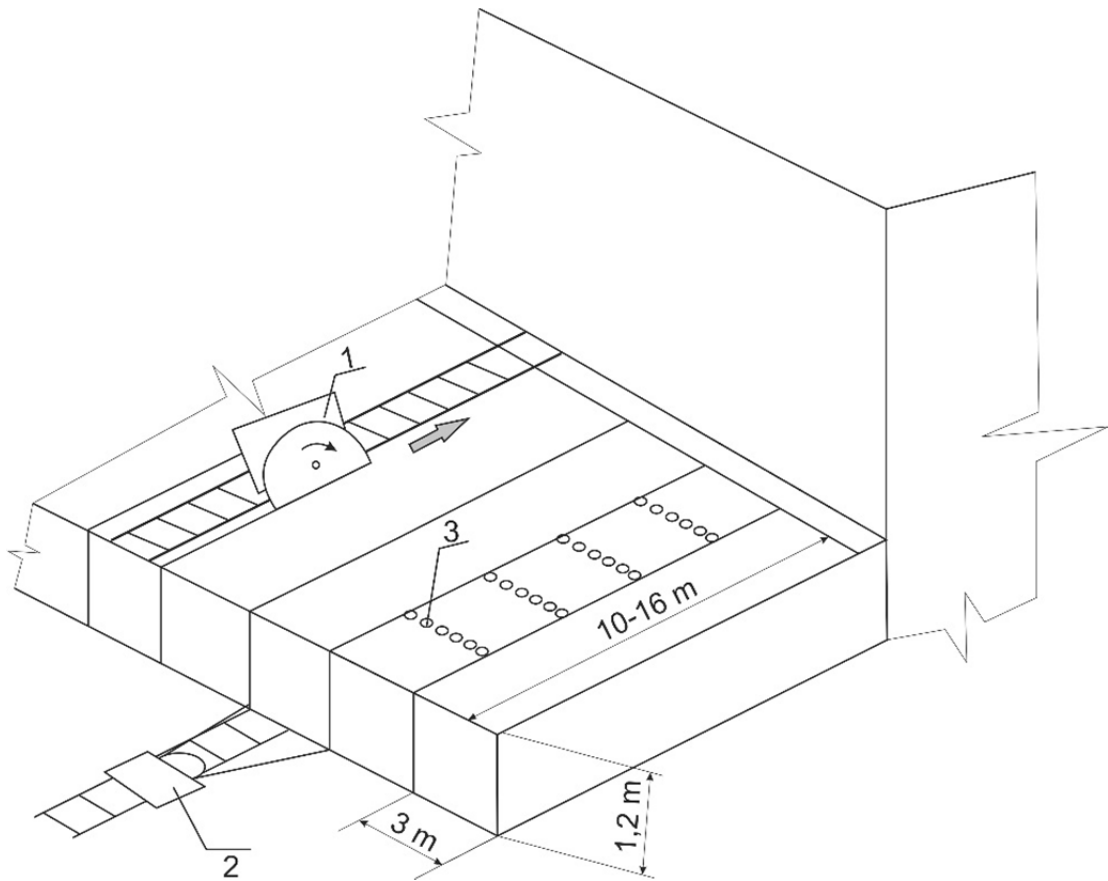


Рис. 2.15. Схема видобування блоків природного каменю за допомогою дискової машини

1 – дискова машина; 2 – канатна машина; 3 – шпури

При використанні дискової машини в тріщинуватих масивах нижню грань блоків відокремлюють буро-клиновим методом за напрямом постільних тріщин. Дискові машини потребують рідину для охолодження алмазного інструменту в кількості 140 л/хв, що ускладнює роботу дискової машини при розкритті кар'єру [79]. В цей період не має дебету природної води в кар'єр.

Для роботи дискової машини важливим фактором є довжина фронту робіт, чим більша довжина різання дисковою пилкою тим вища продуктивність роботи дискової машини. При збільшенні фронту робіт з 5 до 60 м продуктивність зростає в 2,8 рази (рис. 2.16).

Продуктивність визначалась за формулою:

$$P_{\text{дис}} = S_{\text{мон}} / (\sum t_{\text{різ}} + t_{\text{доп}}), \text{ м}^2/\text{год}, \quad (2.15)$$

де $S_{\text{мон}}$ – загальна площа різання, м^2 ; $\sum t_{\text{різ}}$ – час, який затрачається на операції різання; $t_{\text{доп}}$ – час, який затрачається на допоміжні операції різання (перевстановлення машини на інші рейки, перенесення системи охолодження водою інструменту, перевстановлення дисків) операції різання.

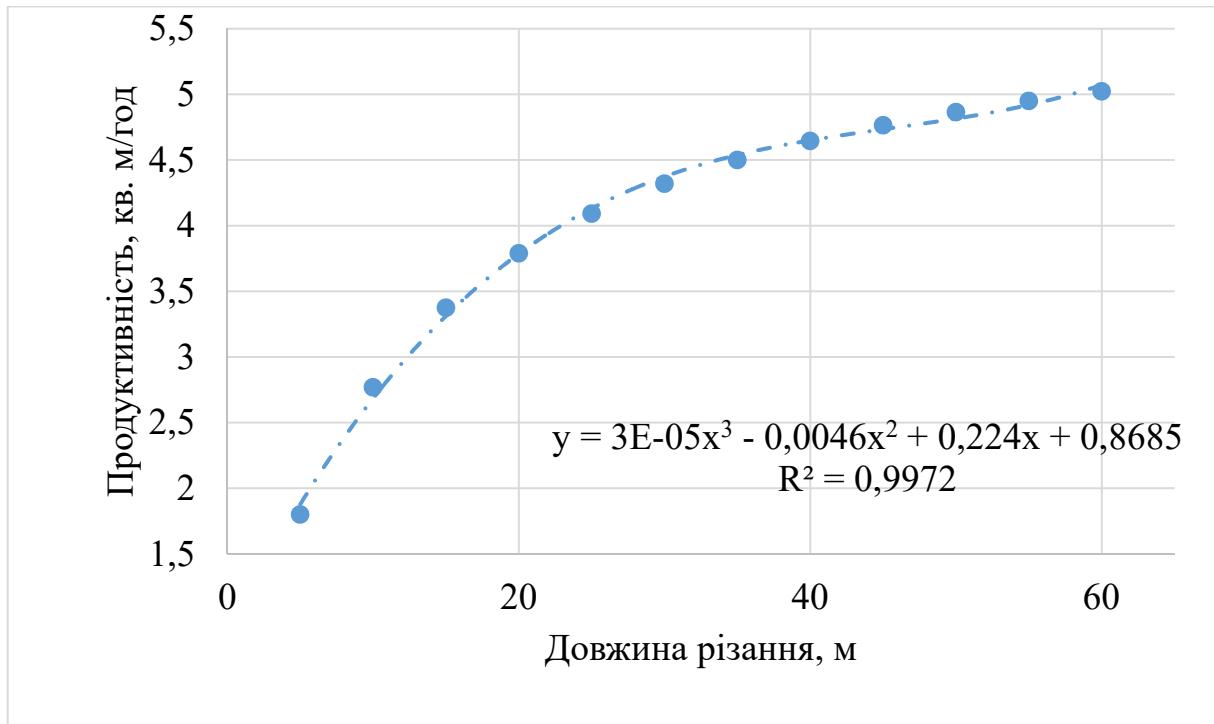


Рис. 2.16. Залежність продуктивності дискової машини на Покостівському кар'єрі від довжини різання

При відокремленні моноліту об'ємом 120 м^3 від масиву за допомогою алмазно-канатної технології питоме буріння для заведення канату складе $0,15 \text{ м/м}^3$. При відокремленні моноліту об'ємом 42 м^3 від масиву за допомогою дискової машини питоме буріння для заведення канату складе $0,057 \text{ м/м}^3$. Відсутність бурових робіт збільшує продуктивність алмазно-канатної пилки порівняно з існуючою технологією (рис. 2.17, 2.18) на 27 %.

Продуктивність канатної машини визначалась за формулою:

$$P_{\text{кан}} = S_{\text{мон}} / (\sum t_{\text{різ}} + t_{\text{доп}}), \text{ м}^2/\text{год}, \quad (2.16)$$

де $S_{\text{мон}}$ – загальна площа різання, м^2 ; $\sum t_{\text{різ}}$ – час, який затрачається на операції різання; $t_{\text{доп}}$ – час, який затрачається на підготовчі операції різання – збірка свердловин для заведення алмазного канату (в залежності від умов буріння коливається від 3 до 8 год.).

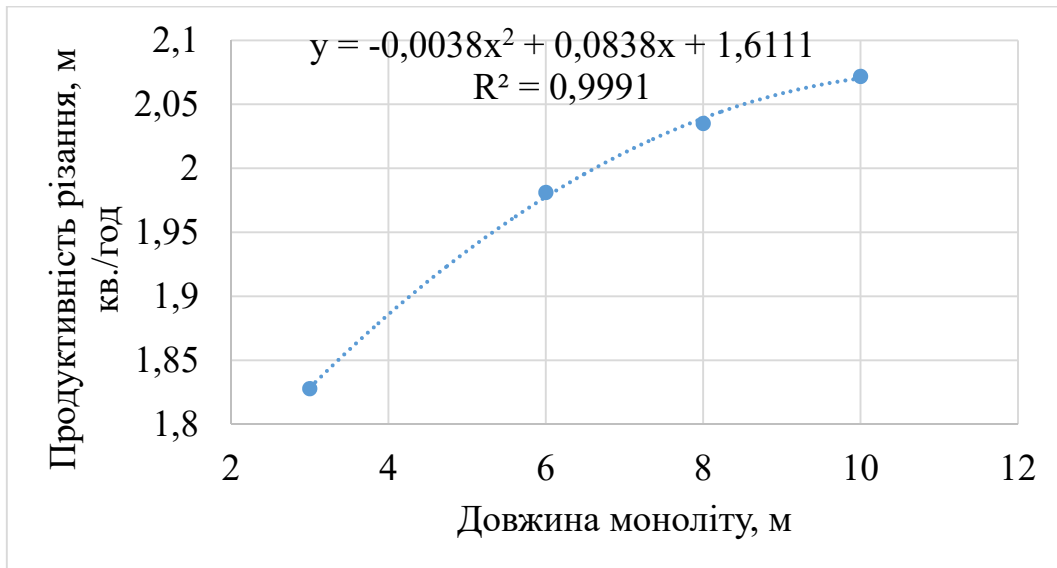


Рис. 2.17. Залежність продуктивності алмазно-канатної машини на Покостівському кар'єрі від довжини різання

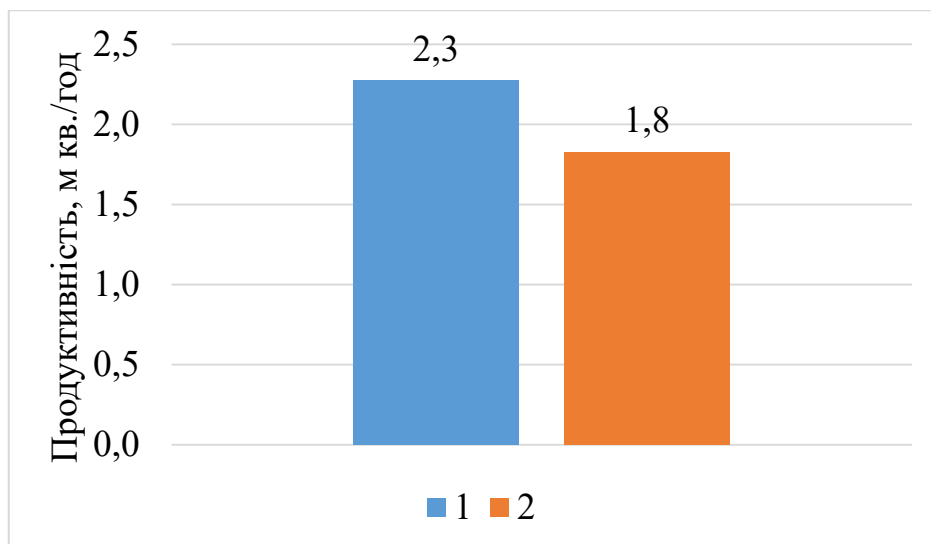


Рис. 2.18. Продуктивність технологій видобування на Покостівському кар'єрі:
1 – при технології видобування дисковими машинами; 2 – при технології видобування алмазно-канатними машинами

В цілому технологія видобування за допомогою дискових пил (при роботі однієї дискової машини) має вищу продуктивність за існуючу технологію на 12 % (рис. 2.19).

Продуктивність видобування алмазно-канатною машиною розраховується за формулою:

$$P_{\text{кан}} = V_{\text{мон}} / ((L_{\text{мон}} H_{\text{мон}} + L_{\text{мон}} H_{\text{мон}} + L_{\text{мон}} B_{\text{мон}}) / v_{\text{різ}}^{\text{кан}} + t_{\text{доп}}), \text{ м}^2/\text{год}, \quad (2.16)$$

де $V_{\text{мон}}$ – об'єм моноліту, м^3 ; $L_{\text{мон}}$, $H_{\text{мон}}$, $B_{\text{мон}}$ – довжина, висота та ширина моноліту, м; $v_{\text{різ}}^{\text{кан}}$ – швидкість різання алмазно-канатною машиною, $\text{м}^2/\text{год}$.

Продуктивність видобування дисковою машиною розраховується за формулою:

$$P_{\text{кан}} = V_{\text{мон}} / ((L_{\text{мон}} H_{\text{мон}} + L_{\text{мон}} H_{\text{мон}}) / v_{\text{різ}}^{\text{диск}} + (L_{\text{мон}} B_{\text{мон}}) / v_{\text{різ}}^{\text{кан}} + t_{\text{доп}}), \text{ м}^2/\text{год}, \quad (2.16)$$

де $V_{\text{мон}}$ – об'єм моноліту, м^3 ; $L_{\text{мон}}$, $H_{\text{мон}}$, $B_{\text{мон}}$ – довжина, висота та ширина моноліту, м; $v_{\text{різ}}^{\text{кан}}$ – швидкість різання алмазно-канатною машиною, $\text{м}^2/\text{год}$; $v_{\text{різ}}^{\text{диск}}$ – швидкість різання дисковою машиною, $\text{м}^2/\text{год}$

При технології видобутку дисковими машинами кількісні втрати гранодіориту на 9% менші, ніж при існуючій технології видобутку. Це пов'язано з відсутністю бурових робіт при заведенні алмазного канату (рис. 2.20).

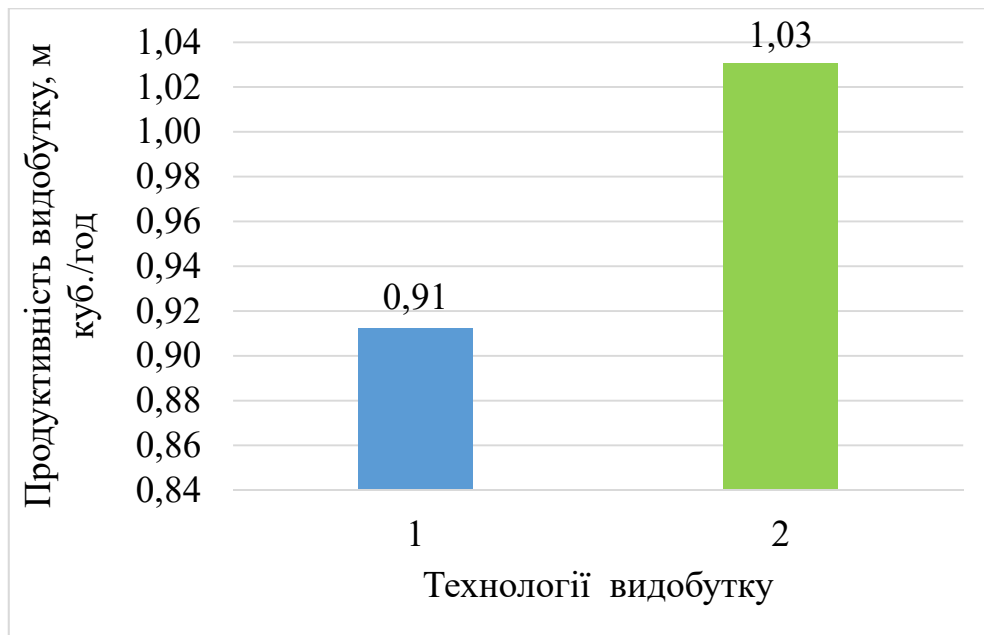


Рис. 2.19. Продуктивність видобутку блоків природного каменю на Покостівському кар'єрі: 1 – при технології видобування алмазно-канатними машинами;
2 – при технології видобування дисковими машинами

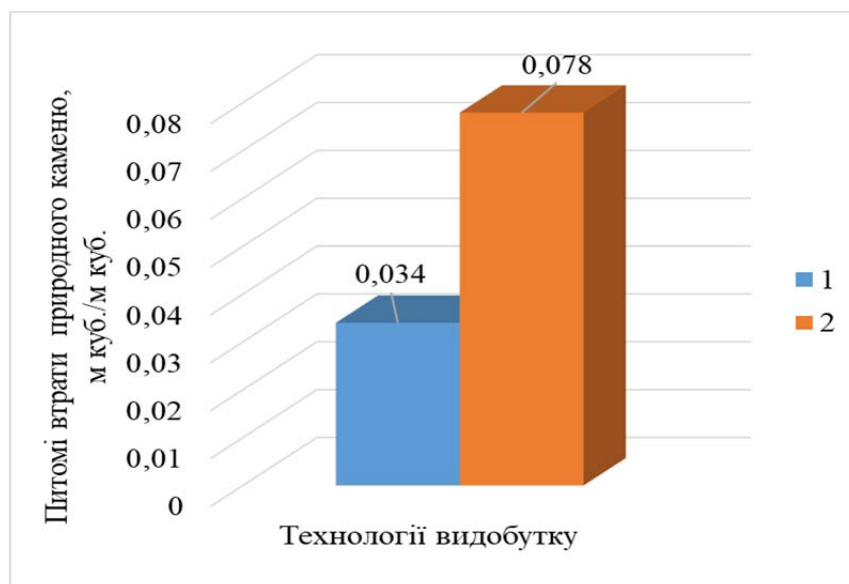


Рис. 2.20. Питомі втрати природного каменю на Покостівському кар'єрі:
1 – при технології видобування дисковими машинами;
2 – при технології видобування алмазно-канатними машинами

Водночас, для ефективної роботи дискових машин необхідна велика площа робочого майданчику. Дана технологія видобування обмежує висоту блоків природного каменю 1,2 м. При різанні дисковими машинами масиву складно врахувати тріщинуватість масиву та включення природних дефектів.

2.3. Показники очікуваних експлуатаційних втрат сировини при видобуванні блоків дисковими каменерізними машинами

Природний камінь є цінним декоративно-облицювальним і оздоблювальним матеріалом. За останні роки надзвичайно зросли вимоги покупців до якості та форми блоків із високоміцних порід природного каменю [20]. Це зумовлено, передусім, підвищенням вартості транспортних перевезень. На даний час, при перевезенні блоків неправильної форми або невеликих розмірів, транспортні витрати не завжди виправдані. Тому сьогодні українським каменедобувним підприємствам висувують вимоги як до якості самого каменю, так і до лінійних розмірів та форми блоків. Це змушує вітчизняні кар'єри змінювати і поліпшувати технологію видобування природного каменю, впроваджувати ефективні технологічні комплекси та всебічно досліджувати масив родовища. Саме тому в даній роботі розглядається нова технологія видобутку природного каменю за допомогою дискових машин. Дана технологія набуває розвитку на блочних кар'єрах з видобутку гранітів у Китаї та має перспективи використання на кар'єрах України з видобутку гранітів та гранодіоритів.

При розробці родовищ природного каменю найбільш сприятливим є наявність системи трьох взаємно перпендикулярних тріщин. Це дозволяє виконувати виймання блоків правильної геометричної форми. При плануванні гірничо-видобувних робіт на кар'єрах декоративного каменю основоположним є тріщинуватість масиву, розміри блоків, що видобуваються, фізико-механічні властивості каменю. І вже залежно від цих факторів планується напрямок

фронту гірничих робіт, висота уступів, обладнання для видобування та транспортування [80–85].

Виробничі процеси на кар'єрах ведуться в однаковій послідовності: підготовка порід до виймання, виймання та навантаження, транспортування і обробка. Питанням технології розробки родовищ природного каменю присвячені роботи [86–90].

Більшість сучасних досліджень стосуються алмазно-канатної технології видобування, при цьому технологія видобування блоків дисковими машинами [91] залишається маловивченою.

Розрахунок експлуатаційних втрат розраховувався в умовах Покостівського родовища гранодіоритів ділянка «Максимова гора». Об'єм промислових запасів цього родовища становить 181,224 тис. м³.

До експлуатаційних втрат належать втрати при бурінні свердловин, різанні щілин, бурінні шпурів на відокремлення моноліту від масиву, втрати при бурінні шпурів з розділення і пасирування моноліту на блоки. Експлуатаційні втрати корисної копалини за діючою технологією видобування показано в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Експлуатаційні втрати корисної копалини за діючою технологією видобування

Назва втрат	Показник
Втрати при бурінні свердловин	157,8 м ³
Втрати при різанні щілин	1176,9 м ³
Втрати при бурінні шпурів на відокремлення моноліту від масиву	235,7 м ³
Втрати при бурінні шпурів з розділення і пасирування моноліту на блоки	1064,0 м ³
Загальні експлуатаційні втрати	2634,4 м ³

На кар'єрі переважно використовують алмазно-канатну технологію для відокремлення монолітів від масиву. Моноліти розділяють на блоки за допомогою буро-клинової технології.

Експлуатаційні втрати при видобутку за існуючою технологією становитимуть 1,45 %.

У результаті проведеного аналізу були встановлені частки експлуатаційних витрат сировини залежно від виду робіт (рис. 2.21).

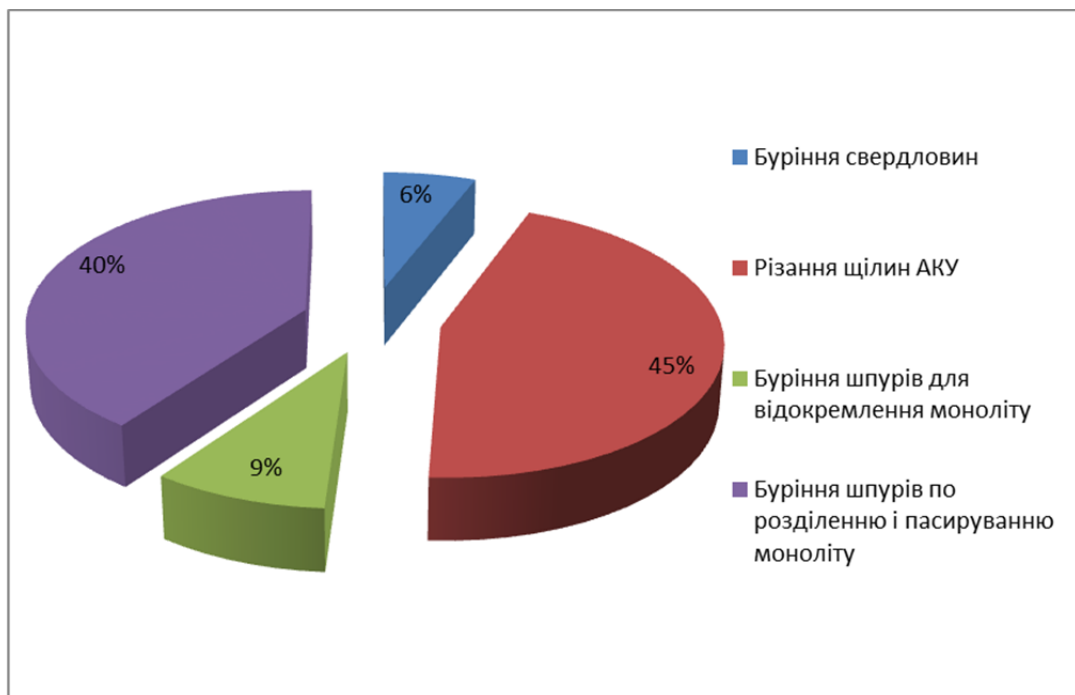


Рис. 2.21. Співвідношення між видами експлуатаційних витрат сировини при діючій технології видобування

Останнім часом широкого поширення набуває технологія видобування блочного каменю дисковими машинами. Технологія видобування дисковими машинами передбачає відокремлення монолітів від масиву гірських порід дисковою каменерізною машиною з подальшим виколюванням блоків можливих об'ємів. Водночас розробка корисної копалини проводитиметься підступами по 1,2 м, що зумовлено технічними характеристиками каменерізної машини.

Найбільш оптимальними (мінімальними) параметрами моноліту для подальших розрахунків приймається моноліт довжиною 15,0 м та шириною 3 м при його висоті 1,2 м. Об'єм такого моноліту становить 54 м³.

Технологія відокремлення монолітів включає такі операції:

1) утворення двох вертикальних відрізних щілин (щільовий вруб) глибиною 1,2 м вдовж фронту робіт – 15,0 м на відстані 3 м одна від одної за допомогою каменерізної машини з дисковою пилкою Ø 2,5 м з подальшим дорізанням пилкою діаметром 3,5 м (рис. 2.22);



Рис. 2.22. Вигляд різів, які виконуються дисковою машиною
Hualong ZGYK-3500

2) буріння вертикальних шпурів Ø 32,0–50,0 мм по крайовим точкам (кутам) моноліту перфоратором Y-28 для зрізання гострої кромки (рис. 2.23);



Рис. 2.23. Вигляд пробурених шпурів по кутам моноліту

3) заведення алмазного канату в щілини по периметру основи моноліту для підрізання підосви;



Рис. 2.24. Схема розміщення клинів, по контуру моноліту

4) забивання клинів у вертикальні різи, що не дасть моноліту притиснути алмазний канат при підрізанні постільної площини (рис. 2.24);

5) утворення горизонтальної відрізної щілини в підшві наміченого моноліту (рис. 2.25) за допомогою алмазно-канатної машини ZSJ-45G (підрізання підшви);



Рис. 2.25. Утворення горизонтальної відрізної щілини в підшві наміченого моноліту за допомогою алмазно-канатної машини ZSJ-45G

6) утворення вертикальної стрічки шпурів $\varnothing 32,0$ мм при відстані між центрами шпурів 15,0–20,0 см на ширину моноліту по лінії наміченого відколу верстатом стрічкового буріння з перфатором Y-28 або аналогічною моделлю (рис. 2.26).



Рис. 2.26. Буріння стрічки шпурів верстатом стрічкового буріння з перфоратором Y-28

7) безпосереднє відокремлення блоків від моноліту за допомогою металевих клинків.

Розділення відокремленого моноліту об'ємом 54 м^3 , буде проводитися на 10 менших частин (блоків), об'ємом до $5,4 \text{ м}^3$ ($1,2 \times 1,5 \times 3,0 \text{ м}$), шляхом буріння шпурів $\varnothing 32,0 \text{ мм}$ при відстані між центрами шпурів $15,0 \div 20,0 \text{ см}$ на ширину моноліту зверстатом стрічкового буріння з перфоратором Y-28 по лініям можливого отримання товарних блоків необхідних розмірів, з подальшим використанням металевих клинків.

Транспортування монолітів (блоків) на склад готової продукції здійснюється колісним фронтальним навантажувачем CAT 980G.

Експлуатаційні втрати корисної копалини за технологією видобування дисковими машинами наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Експлуатаційні втрати корисної копалини за допомогою дискової каменерізної машини

Назва втрат	Показник
Втрати при бурінні шпурів (для зрізання гострої кромки)	33,3 м ³
Втрати при різанні щілин	1828,5 м ³
Втрати при бурінні шпурів по розділенню і пасируванню моноліту на блоки	540,2 м ³
Загальні експлуатаційні втрати при виконанні видобувних робіт становитимуть:	2402 м ³

В результаті проведеного аналізу були встановлені частки експлуатаційних витрат сировини залежно від виду робіт (рис. 2.27).

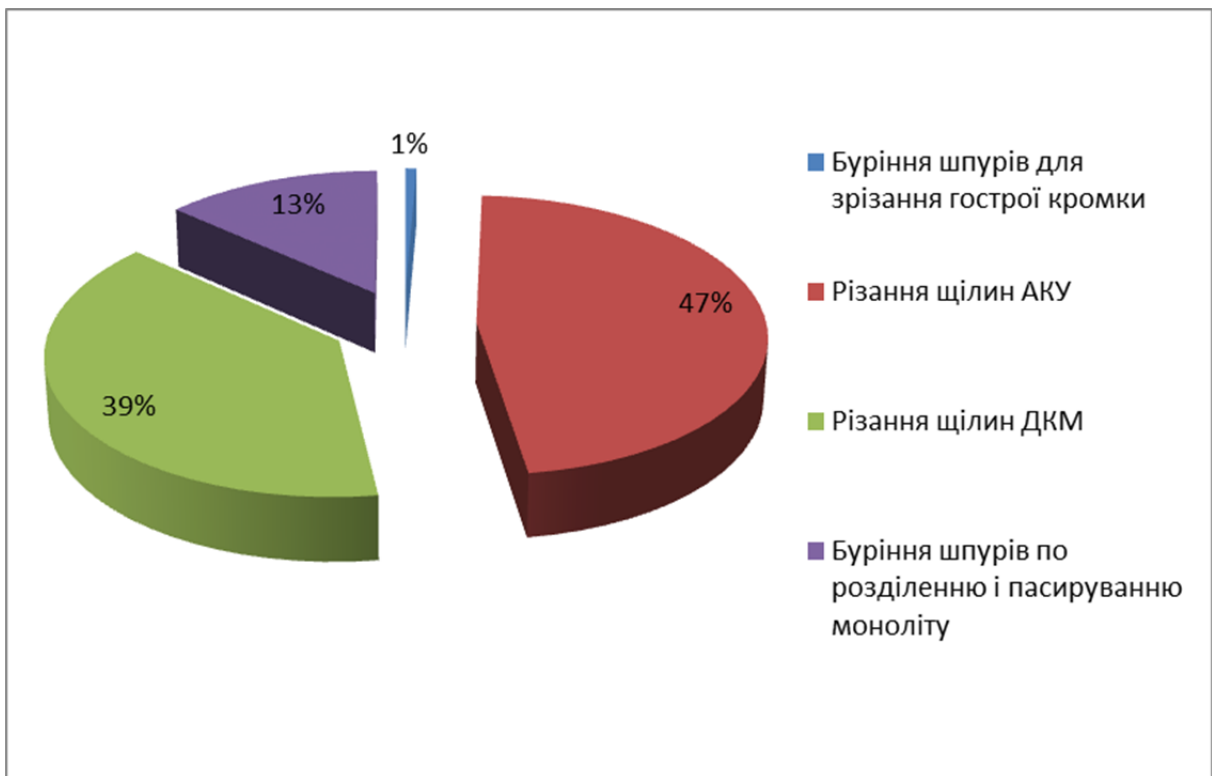


Рис. 2.27. Очікувані співвідношення між видами експлуатаційних втрат при впровадженні дискової каменерізної машини Hualong HKYS-3500-B

Проведені розрахунки показують, що під час реалізації технології видобування блоків із застосуванням дискової каменерізної машини в цілому експлуатаційні втрати сировини становитимуть 1,32 %. За таких умов очевидним буде цілий ряд переваг:

- підвищиться продуктивність з видобування блоків до 1,5 раза за рахунок підвищення продуктивності з нарізання щілин дисковою каменерізною машиною;
- підвищиться якість блочної сировини, яка буде відповідати вимогам міжнародних стандартів;
- зменшиться енергоємність процесу видобування та збільшиться коефіцієнт надійності обладнання;
- зменшиться собівартість видобування блоків за рахунок застосування дешевшого алмазного інструменту на дискових каменерізних машинах порівняно з алмазно-канатними установками;

- підвищиться продуктивність в керуванні якістю сировини за рахунок зменшення часу на фазу відбракування блочної сировини.

Висновки до розділу 2

1. Технологія видобування блоків природного каменю за допомогою дискових машин потребує значні площі робого майданчику. Тому ускладнене застосування даної технології в невеликих кар'єрах, де вже проводиться видобування уступами висотою 6 м. Дана технологія обмежує висоту блоків природного каменю 1,2 м. Технологія видобування блоків природного каменю за допомогою дискових машин має вищу продуктивність та менші питомі втрати природного каменю ніж алмазно-канатна технологія добування природного каменю.

2. Залежність продуктивності дискової машини на Покостівському кар'єрі від довжини різання описується поліномом другого порядку.

3. Аналіз системи розробки Покостівського родовища гранодіориту ділянка «Максимова Гора» показав, що наявний спосіб видобування не є оптимальним. В процесі видобування утворюється велика кількість відходів сировини.

4. Проведені розрахунки показують, що при реалізації технології видобування блоків із застосуванням дискової каменерізної машини в цілому експлуатаційні втрати сировини становитимуть 1,32 %, в порівнянні з алмазно-канатною технологією, де втрати складають – 1,45 %.

РОЗДІЛ 3. ВПЛИВ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ДИСКОВОЇ МАШИНИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИДОБУВАННЯ ГРАНОДІОРИТУ

3.1. Методика проведення експерименту

На продуктивність та час різання дискової машини впливає багато чинників. Одним з таких чинників є: будова алмазних напайок (тип алмазу, концентрація алмазу, розмір наповнювача, твердість металевої зв'язки); метод виготовлення сегмента; умови різання (швидкість різання, швидкість робочої подачі, глибина різання); режим різання (за подачею, проти подачі); фізико-механічні та мінералогічні властивості каменю, який видобувається; ефективність охолодження (тип теплоносія та витрата); стан дискової машини; майстерність оператора. Очевидно, що всі ці параметри вказують на складність системи і роблять прогнозування продуктивності надзвичайно важким завданням. Тим не менш, для того, щоб можна було краще зрозуміти різні аспекти процесу різання граніту дисковими машинами, було проведено чимало досліджень різними вченими.

Літературні дослідження [39, 40, 92] показують, що визначення розпилювальності гранодіоритів передбачає велику кількість параметрів, які часто взаємопов'язані. Враховуючи цю складність, в даній роботі було зроблено спробу зосередити увагу лише на одному з аспектів процесу – енергоємність різання.

Для досягнення цих цілей було проведено серію випробувань на Покостівському гранодіориті. Основними завданнями цього дослідження було: вивчити вплив режиму різання на швидкість зношення алмазного інструменту та витрату електричної енергії, яка затрачається на процес різання.

Експерименти з пилкою проводили на дисковій машині Hualong ZGYK-3500 (рис. 3.1). Споживана потужність під час випробувань вимірювалася за допомогою цифрового вимірювального приладу (ЕМА 14). Цифровий принцип означає, що напруги та струми в окремих фазах вимірюються одночасно, з короткими інтервалами. Аналогові значення напруги та струму

оцифровувалися, а потім передаються індивідуально цифровому сигнальному процесору, який обчислює всі необхідні значення. Для того, щоб мати можливість контролювати основні блоки експериментальної установки, а також для полегшення запису експериментальних даних, було використано ПК (Ноутбук Mi Notebook 15 Lite) із спеціальним програмним забезпеченням MATLAB SIMULINK.



Рис. 3.1. Дискова машина Hualong ZGYK-3500

Дискова машина мала діаметр пилки 2,5 м. Алмази були розміром 40/50 меш з концентрацією 50 (100 % концентрація дорівнює 4,4 карата алмазів на см^3 об'єму напайки), дані напайки рекомендуються для розпилювання твердих матеріалів. Витрати води складали 120 л/хв. Швидкість обертання вимірювали під час різання за допомогою бесконтактного лазерного тахометру Benetech GM8905.

Для експериментів з різання було вибрано монолітну ділянку масиву гірської породи, яка не має видимих включень. Мінералогічний склад та фізико-механічні властивості досліджуваного гранодіориту наведені у табл. 3.1.

Експерименти з різання проводилися як в режимі різання «за подачею» (рис. 3.2 а), так і «проти подачі» (рис. 3.2 б). Різання проводили п'ять разів в обидві сторони. Отримані дані усереднювалися.

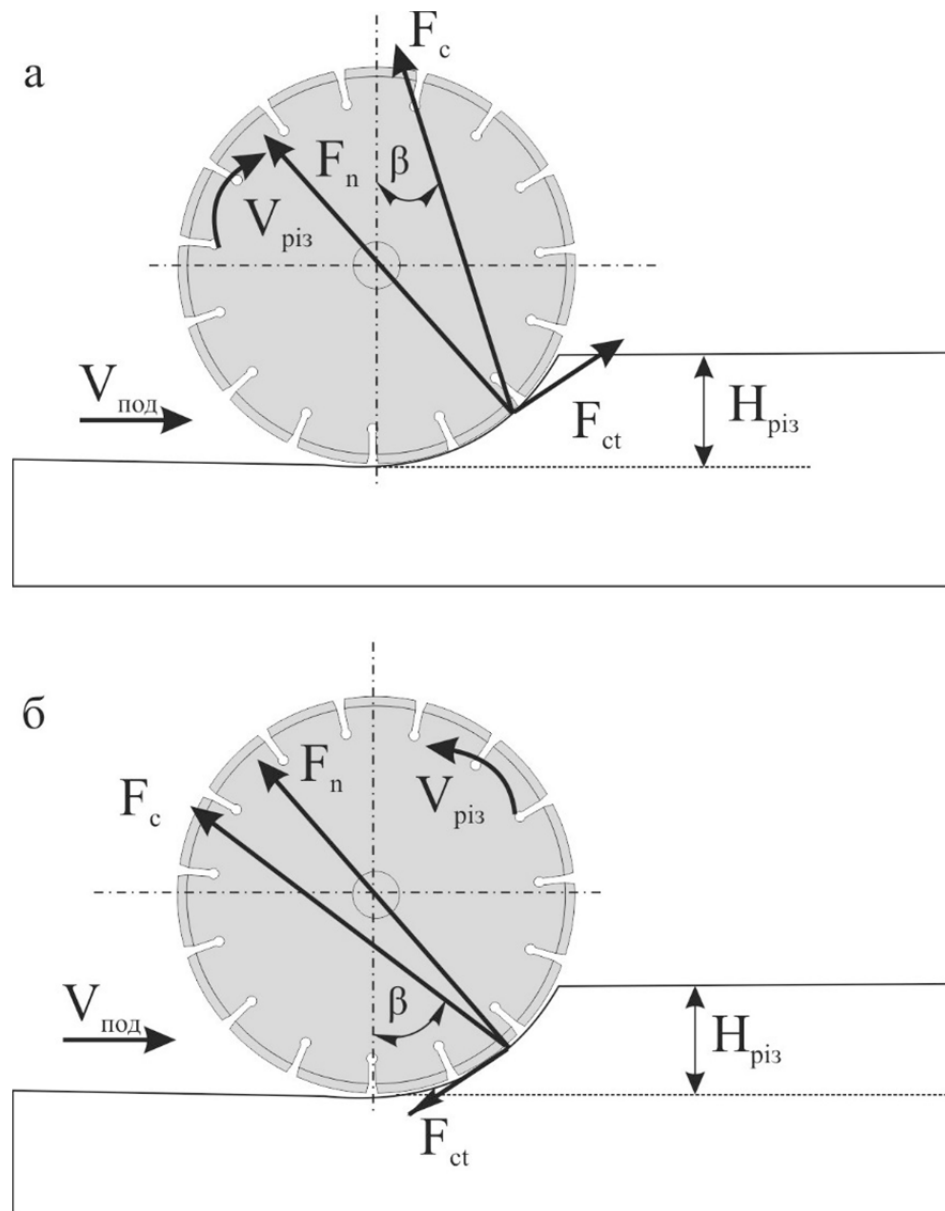


Рис. 3.2. Кінематика процесу різання для: (а) «різання за подачею» та (б) «різання проти подачі»

Радіальне зношення сегментів визначалося вимірюванням висоти десяти маркованих сегментів (рис. 3.3), до і після завершення кожної серії випробувань. Зміна висоти сегмента вираховувалася як середнє значення трьох показників, які були виміряні у фіксованих місцях на кожному маркованому сегменті.



Рис. 3.3. Вигляд алмазних сегментів дискової пилки

Таким чином, показники зношення пилки під час різання оцінювалися з урахуванням питомої швидкості зношення, яка визначалася як відношення радіального зношення пилки до площі пропилу.

Фізико-механічні характеристики Покостівського гранодіориту

Об'ємна маса, кг/м ³	2740
Водопоглинання, %	0,24
Міцність на стиск, МПа	220
Стираємість, г/см ²	0,64

3.2. Зношення алмазного інструменту дискової машини при різних напрямках різання

Різання масиву гірських порід дискова машина виконує човниковим способом – в прямому та зворотному напрямках. Тобто дискова машина здійснює різання в напрямі «за подачею» та «проти подачі». Це відбувається тому, що напрям обертання пилки залишається однаковим, коли вона рухається вперед і назад.

Зношення алмазного інструменту відбувається менше за напрямом різання «проти подачі» ніж «за подачею». Цей факт можна пояснити відмінностями в кінематиці цих двох процесів. При різанні каменю в напрямі різання «за подачею» алмазні зерна напайки будуть проникати в камінь на всю глибину, вступаючи в контакт з ним. Оскільки цей процес починається з різання максимальної товщини стружки, алмазні зерна будуть піддаватися великим ударним навантаженням. Високі ударні навантаження врешті-решт призведуть до розриву та/або виколювання алмазних зерен зі зв'язки напайки, що спричинить швидке зношення пилки. За напрямом різання «проти подачі» алмазні зерна будуть починати різання з мінімальною товщиною стружки. Водночас алмазна напайка поступово буде піддаватися зростаючим навантаженням у міру збільшення товщини стружки, що призводить до тертя.

Зменшити зношення алмазозного шару в напрямі різання «за подачею» можна тільки обґрунтовано обраними режимами різання і конструктивними параметрами інструменту.

Зв'язок силового і швидкісного режимів різання з конструктивними, техніко-економічними параметрами процесу різання приймається на основі кінематичної теорії поверхневого руйнування гірських порід алмазно-абразивним інструментом.

Величину максимального заглиблення визначає кут контакту дискової пили з каменем:

$$\varphi_{\kappa} = \arcsin \left(2\bar{H} - \bar{H}^2 \right)^{0,5},$$

де $\bar{H} = H / R$ – відносна глибина пропилю; R – радіус дискового інструменту, м; H – глибина пропилю, м.

Щоб знизити рівень тангенціальних динамічних навантажень на алмазне зерно на початку контактування інструменту з породою в напрямі різання «за подачею», необхідно знижувати кут контакту, тобто глибину пропилю. Зменшення ударних навантажень на зерно підвищить зносостійкість алмазних сегментів. Питання полягає лише в тому, до якої межі знижувати кут (глибину різання) контакту і як ці параметри пов'язані з ефективністю багатопрохідного процесу різання природного каменю високої міцності.

Оскільки домінуючими експлуатаційними витратами є витрати на дорогий алмазний інструмент, то відповідь на поставлене запитання і рішення поставленого завдання доцільно шукати на основі мінімізації зношення сегментів. Водночас обґрунтування режимних параметрів різання і технологічного параметру за один прохід інструменту має комплексний підхід, який враховує роботу інструменту за напрямом різання «проти подачі» та «за подачею».

Для виявлення залежностей зношення алмазних сегментів від швидкості подачі інструменту і глибини різання при різних напрямках різання було проведено кілька серій експериментів, що відрізняються силовим режимом різання. Кожен експеримент повторювався 5 разів.

Перша серія експериментів проводилася при постійній швидкості подачі та різних глибинах різання: $V_{\Pi} = 0,6$ м/хв, $H = 3; 5; 8$ см. Результати впливу режиму різання на питоме зношення наведено на рис. 3.4.

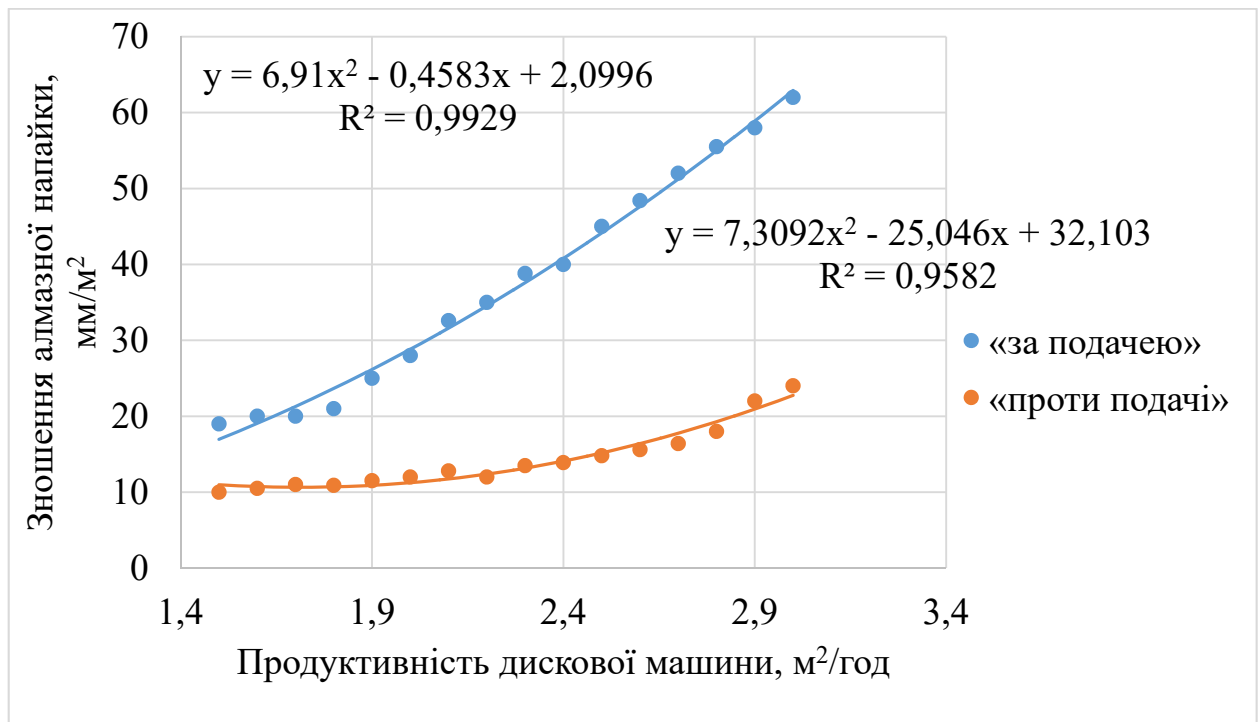


Рис. 3.4. Показники зношення інструменту при різних напрямках різання, при різній глибині різання ($V_{\Pi} = 0,6$ м/хв, $H = 3; 5; 8$ см)

За результатами даних досліджень, які наведені на рис. 3.4, можна зробити такі основні висновки:

- зі збільшенням продуктивності зростає і питоме зношення інструменту;
- величина питомого зношення та інтенсивність його приросту в міру збільшення продуктивності залежить від способу подачі дискової пили;

- при підвищенні продуктивності різання в 2 рази, питоме зношення сегментів збільшилося в 3,25 рази за напрямом різання «за подачею» та в 2,4 рази – «проти подачі»;

- збільшення питомого зношення сегментів при режимі різання «проти подачі» щодо режиму різання «за подачею» для продуктивності $\Pi = 1,5 \text{ м}^2/\text{год}$ складає 1,9, а для продуктивності $\Pi = 3 \text{ м}^2/\text{год}$ – 2,6.

Була проведена друга серія експериментів при сталій глибині різання $H = 8 \text{ см}$ та змінною швидкістю робочої подачею $V_{\Pi} = 0,3\text{-}0,6 \text{ м/хв}$.

Результати експерименту в графічному вигляді наведені на рис. 3.5. З результатів дослідження видно, що зі збільшенням продуктивності зростає питоме зношення алмазних сегментів, але з різною інтенсивністю, яка визначається способом подачі інструменту. З ростом продуктивності в 2 рази питоме зношення сегментів збільшилося в 3,45 рази за напрямом різання «за подачею» та в 2,62 рази «проти подачі».

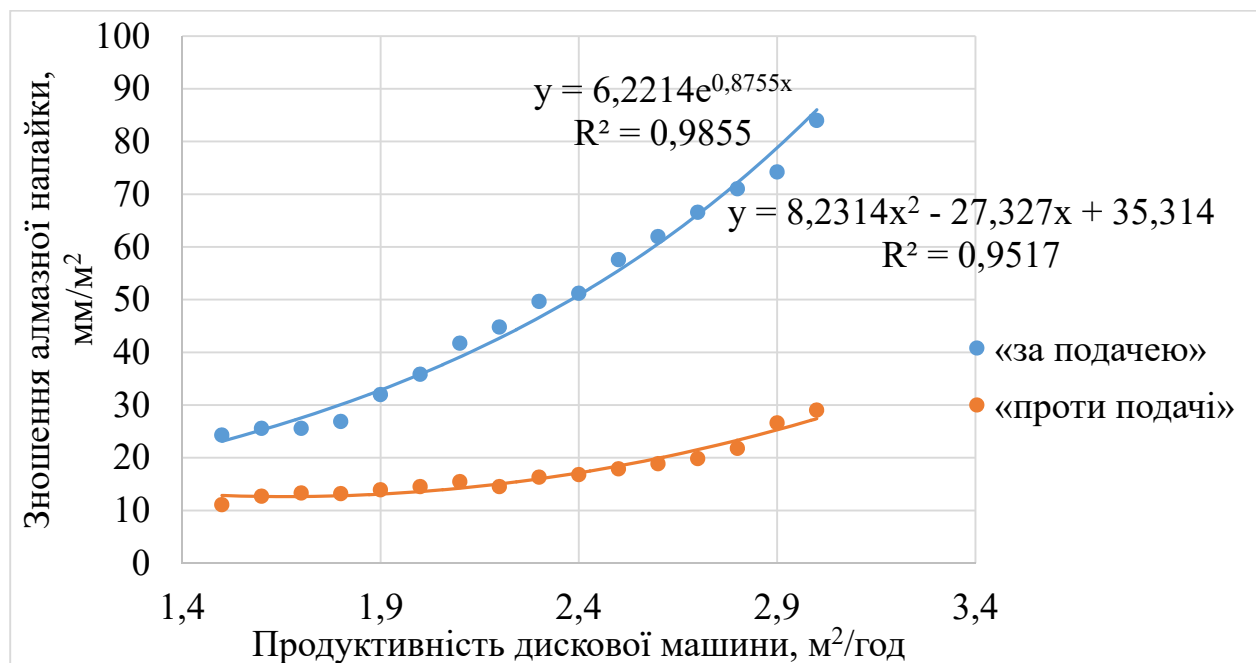


Рис. 3.5. Показники зношення інструменту при різних напрямках різання, при різній швидкості подачі ($H = 8 \text{ см}$, $V_{\Pi} = 0,3\text{-}0,6 \text{ м/хв}$)

З метою досягнення найкращих техніко-економічних показників, результати експериментальних досліджень дають можливість зробити головний висновок: алмазозберігаючому режиму багатопрохідного різання має відповідати умова однакового питомого зношення сегментів, тобто умова їх рівного стирання за напрямом різання «проти подачі» та «за подачею». При збільшені глибини різання та зменшені робочої подачі енерговитрати будуть меншими ніж при високій швидкості подачі та невеликій глибині різання. Режим проти подачі має менші енерговитрати різання тому при цьому русі можливо збільшувати глибину різання, що підвищить продуктивність різання.

3.3. Енергоємність різання дисковою машиною

Питома енергія різання є основним параметром при обробці природного каменю [39, 47, 93-97]. Питома енергія різання визначається як електроенергія, яка витрачена на один метр квадратний пропилю. Цей параметр широко використовується для вимірювання ефективності процесу різання. На практиці питома енергія є інструментом для оцінки енергетичних потреб для певної операції різання. У цьому дослідженні для того, щоб можна було вивчити вплив режиму різання на ефективність різання гранодіориту, було записано споживання енергії для кожної серії пропилів та поділено на площу різання.

Електрична енергія, що приводить в дію дискові пили, передається на двигун через пульт керування. Величину електричної потужності, що передається на двигун, вимірювали за допомогою цифрового лічильника потужності (Mercury 230 ART-01 CLN). Цей цифровий лічильник потужності був розміщений на лінії електропередачі, яка проходила через пульт керування та підключалася до двигуна. Під час цих вимірювань було визначено середнє значення для п'яти циклів різання.

Щоб визначити, як режим різання впливав на споживання електроенергії, швидкість робочої подачі та глибину різання, пилки змінювалися. Ці значення наведені в табл. 3.2. Вони приймалися в граничних межах для дискової машини.

У дослідженні було оцінено майже 200 значень показників режимної роботи дискової машини. Щоб уникнути плутанини щодо даних на графіках було показано лише ті значення, які вважалися достовірними.

На рис. 3.6 представлені дані, які були записані під час одного з процесів різання і зібрані протягом трьох послідовних циклів роботи пилки. Довжина пропилу приймалася 5 м.

Таблиця 3.2.

Робочі параметри дискової машини при різанні
«за подачею» та «проти подачі»

Глибина різання, см	Швидкість робочої подачі, м/хв
3	0,4
3	0,5
3	0,6
3	0,7
5	0,4
5	0,5
5	0,6
5	0,7
8	0,4
8	0,5
8	0,6
8	0,7

Крива споживання електроенергії за часом ілюструвала зміни, що відбулися у споживанні електроенергії залежно від умов різання. Ця крива полегшила точний аналіз процесу різання. Кожен пік на рис. 3.6 представлений процесом зарізання дискової пилки на необхідну глибину. Зі збільшенням контакту пилки з каменем збільшується витрата електроенергії. Перша крива, яка представлена після процесу зарізання описує рух пили вперед. Іншими

словами, криві на цій фігурі розташовані відповідно до послідовності, за якою здійснювалося різання природного каменю. Після закінчення першої стадії циклу різання починається процес пониження пилки – зарізання на необхідну глибину.

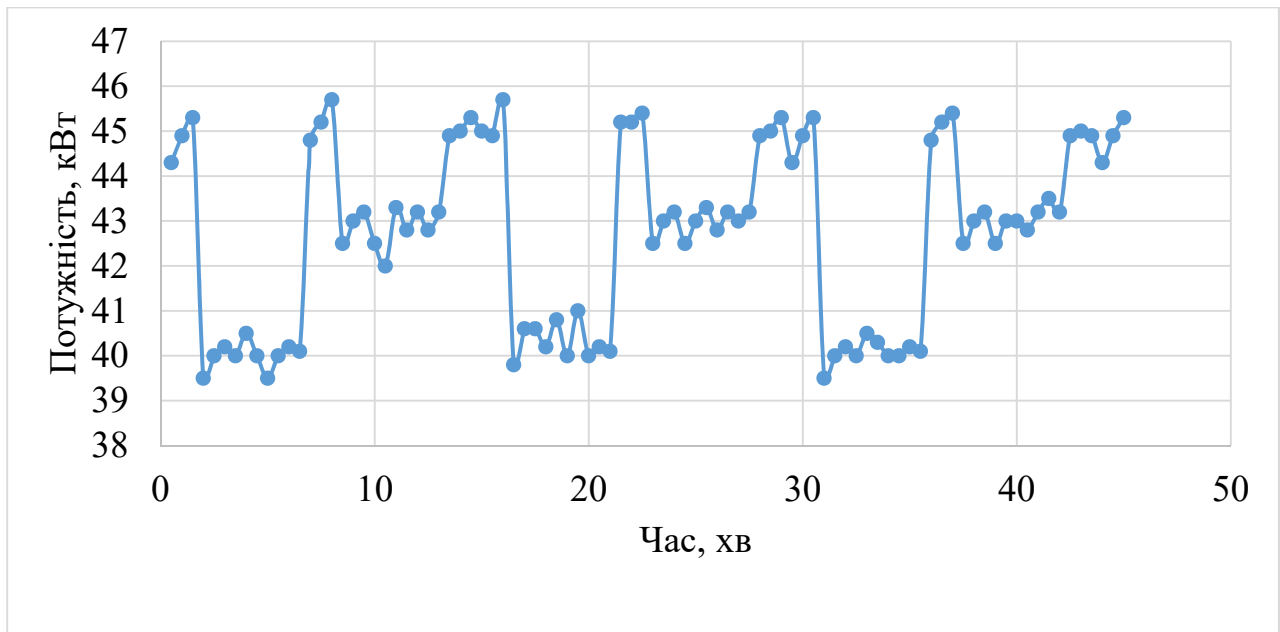


Рис. 3.5. Залежність споживання електроенергії двигуном дискової машини від часу

На першому етапі процесу різання пилка знаходилася в режимі «проти подачі» та «за подачею» при русі назад.

У цьому дослідженні вперше було оцінено вплив збільшення глибини різання дисковою машиною на потужність двигуна при постійній швидкості подачі. Відомо, що збільшення глибини різання збільшить витрату електричної енергії. Однак основним акцентом у цьому дослідженні було визначення кількісної залежності між збільшенням глибини різання та збільшенням споживання електроенергії.

Швидкість робочої подачі 0,4, 0,5, 0,6 та 0,7 м/хв при глибині різання 3 см привела до споживання електроенергії 15,7, 17,8, 19,6, і 20,9 кВт·год відповідно (табл. 3.3). Незалежно від зношення полотна пилки, швидкість подачі різання 0,4 м/хв вимагала споживання енергії 15,7 кВт·год, тоді як швидкість подачі

різання 0,7 м/хв призвела до збільшення споживання електроенергії на 5,2 кВт·год (15,7-20,9 кВт·год). Іншими словами, кількість споживаної енергії на 1 м² становила 21,8 кВт·год, коли процес різання здійснювався при швидкості подачі 0,4 м/хв, при збільшенні робочої подачі до 0,7 м кількість споживаної енергії на 1 м² склала 19,8 кВт·год. Швидкість подачі різання 0,7 м/хв вимагала лише додаткових витрат на потужність 5,2 кВт·год порівняно зі швидкістю подачі різання 0,4 м/хв. Водночас питоме споживання електроенергії зменшується зі збільшенням робочої подачі дискової пилки. Крім того, той факт, що один рух дискової пилки покрив додаткові 0,3 м, привів до скорочення трудових витрат і часу, який необхідний в процесі різання.

Таким чином, можна констатувати, що при глибині різання 3 см швидкість робочої подачі 0,7 м/хв є більш вигідною з точки зору енергоспоживання ніж швидкість робочої подачі 0,4 м/хв. Оцінюючи результати, які були отримані при глибині різання 6 см, видно, що витрата енергії при швидкості подачі 0,4 м/хв становить 22,44 кВт, а споживання енергії при швидкості подачі 0,7 м/хв становило 34,3 кВт·год. Для глибини різання 5 см різниця у витраті електроенергії між 0,4 м/хв та 0,7 м/хв швидкості робочої подачі становила 11,86 кВт·год (34,3–22,44). Кількість питомої електроенергії на 1 м² становила 18,7 кВт·год при швидкості робочої подачі 0,4 м/хв, а для робочої подачі 0,7 м/хв кількість споживаної електроенергії на 1 м² становила 16,33 кВт·год. Робоча швидкість подачі 0,7 м/хв вимагала лише додаткових витрат на потужність 11,86 кВт·год порівняно зі швидкістю подачі різання 0,4 м/хв.

Така ж ситуація стосувалася і глибини різання 8 см. На основі цих результатів можна стверджувати, що підвищення швидкості подачі на всіх оцінених глибинах різання було більш вигідним з точки зору енергоефективності. Основна проблема, яка потребує вирішення в цьому контексті – це зменшення рівня додаткового зношення інструменту, який викликаний більш швидкою подачею. У тому випадку, якщо глибина різання залишається такою ж, збільшення швидкості робочої подачі під час процесів

різання було б більш вигідним. Оскільки це буде сприяти зменшенню витрат на електроенергію та робочу силу.

Таблиця 3.3

Експериментальні дані, які отримані при різній глибині різання
та швидкості робочої подачі

Глибина різання (см)		Швидкість робочої подачі (м/хв)		Споживана потужність електродвигуна, кВт·год	
проти подачі	за подачею	проти подачі	за подачею	проти подачі	за подачею
3	3	0,4	0,4	15,70	17,27
3	3	0,5	0,5	17,85	19,99
3	3	0,6	0,6	19,61	22,16
3	3	0,7	0,7	20,89	29,25
5	5	0,4	0,4	22,45	33,67
5	5	0,5	0,5	29,40	34,69
5	5	0,6	0,6	31,12	36,72
5	5	0,7	0,7	34,30	40,82
8	8	0,4	0,4	32,62	38,59
8	8	0,5	0,5	33,71	40,12
8	8	0,6	0,6	37,41	44,52
8	8	0,7	0,7	41,41	49,69

Оцінка умов різання, які наведено у табл. 3.3 показує, що різниця між режимами «за подачею» та «проти подачі» споживання електроенергії була не дуже суттєвою. При більше ніж 200 циклах різання, між двома режимами, складала в межах 20 %. Ця різниця була головним чином обумовлена різними горизонтальними та вертикальними зусиллями, що діють на алмазний

інструмент під час різання. Залежність, яка показана на рис. 3.6 ілюструє різницю в споживанні електроенергії між режимами різання «за подачею» та «проти подачі». Результати, які показані на рис. 3.6 вказують на те, що режим різання «проти подачі» є більш вигідним з точки зору енергоспоживання.

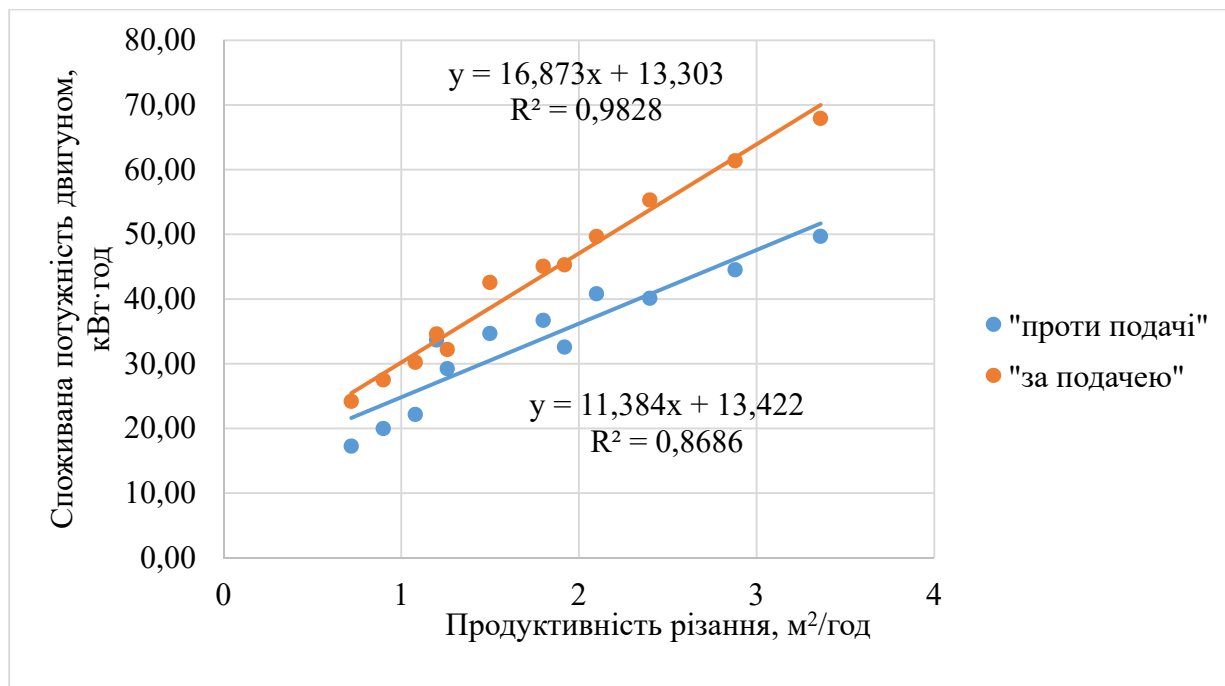


Рис. 3.6. Залежність споживаної електроенергії дисковою машиною від продуктивності різання

Згідно з рис. 3.7, при режимі подачі різання та при постійній швидкості подачі 0,4 м/хв глибина різання 3 см спричиняла споживання електричної енергії 15,7 кВт·год, тоді як глибина різання 8 см спричиняла потужність споживання 27,6 кВт·год. Ці результати свідчать про те, що майже триразове збільшення глибини різання не було пов'язане з триразовим збільшенням споживання електроенергії. Аналогічні результати спостерігалися при швидкості робочої подачі дискової пили 0,5, 0,6 та 0,7 м/хв.

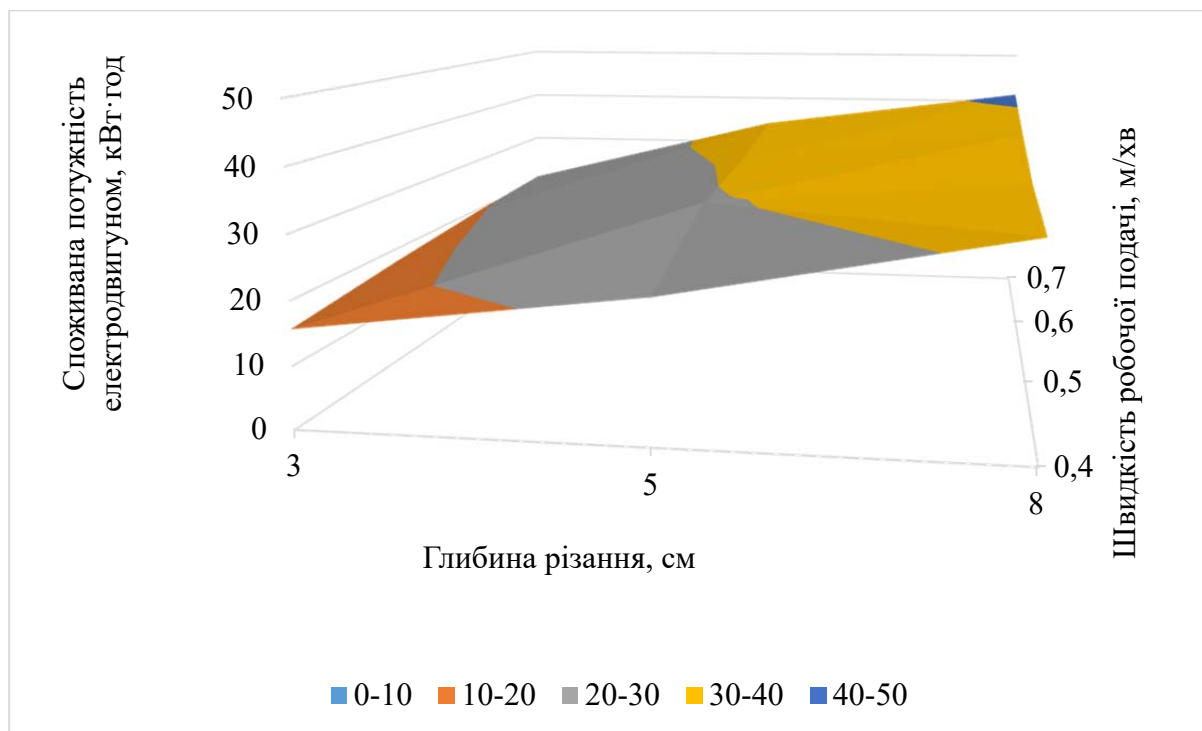


Рис. 3.7. Вплив глибини різання на споживання електроенергії за напрямом різання «проти подачі» при постійній глибині різання

Ці спостереження можна пояснити таким чином: коли пилка заглиблювалася в природний камінь (іншими словами, по мірі збільшення глибини різання), площа контакту алмазних зерен зв'язки інструмента з каменем також збільшилася. Частка сегмента, який контактував з матеріалом, становила 25 % при глибині різання 3 см, ця частка зросла до 67 % при глибині різання 8 см. Збільшення контакту між інструментом та природним каменем призвело до збільшення сил, що діють на дискову пилу, та збільшило споживання електричної енергії.

Підвищення рівня контактів призвело до майже потрійного збільшення обсягу виробництва. Аналогічна ситуація була отримана для всіх умов різання, які виконувалися у режимі «за подачею» (рис. 3.8).

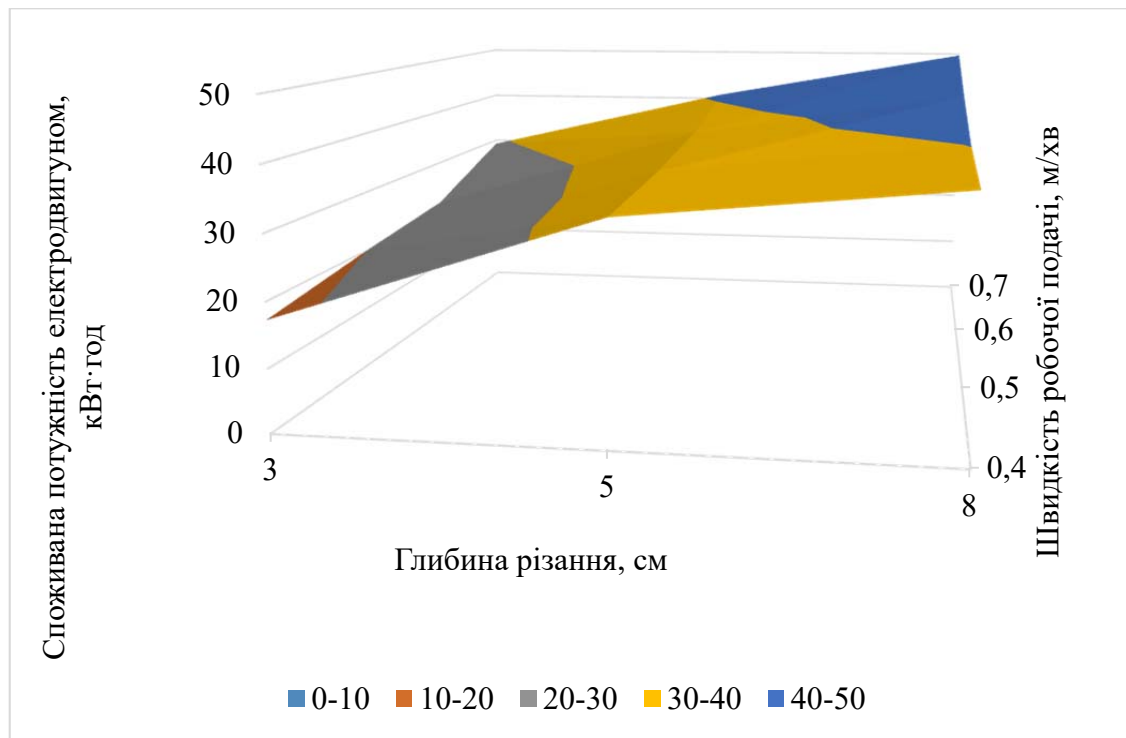


Рис. 3.8. Вплив глибини різання на споживання електроенергії за напрямом різання «за подачею» при постійній глибині різання

Майже у всіх лабораторних дослідженнях в літературних джерелах режим «проти подачі» був описаний як такий, що призводить до зниження енергоспоживання, ніж режим «за подачею», коли всі інші параметри різання були незмінні [35, 47, 55].

Причиною цього є те, що в режимі різання «за подачею» процес різання починається з максимальної товщини стружки, який спричиняє великі ударні навантаження на алмазне зерно.

Результати цього дослідження, яке отримано в даній роботі підтверджують результати, які були отримані іншими дослідниками. Оскільки значення споживання електроенергії в цих двох режимах відносно близькі один до одного, дискові машини виконують різання як вперед, так і назад. Це скорочує період часу, протягом якого дискова машина простоє на холостому ходу, тим самим збільшуючи час різання, а також зменшує витрату робочого часу робітників.

Оцінка даних на рис. 3.7–3.8 вказує на те, що при сталій глибині різання та змінній швидкості робочої подачі, спостерігається збільшення споживання електроенергії при режимах різання «за подачею» та «проти подачі». Витрата електроенергії була нижчою, коли швидкість робочої подачі трималася постійною 0,6-0,7 м/хв, а глибина різання збільшувалася. Цей результат узгоджується з висновками багатьох досліджень [39, 98].

Залежність середньої вартості електричної енергії від продуктивності різання наведено на рис. 3.9.

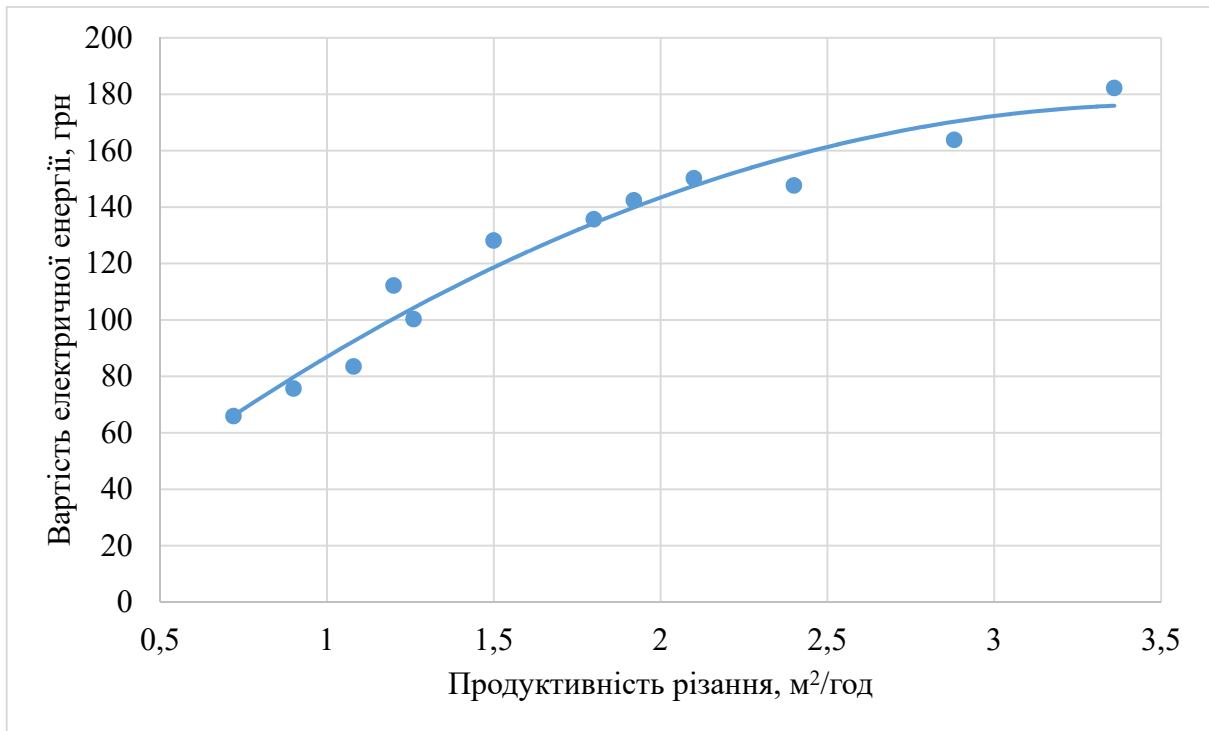


Рис. 3.9. Залежність середньої вартості електричної енергії від продуктивності різання

Залежність питомої середньої вартості електричної енергії від продуктивності різання наведено на рис. 3.10.

Розрахунок питомої середньої вартості електричної енергії проводився за формулою:

$$P = P^{\text{вер}} / \Pi, \text{ грн / м}^2,$$

де $P^{\text{вер}}$ – вартість електроенергії, яка споживається електродвигуном дискової машини, грн; Π – фактична продуктивність різання дискової машини, м^2 .

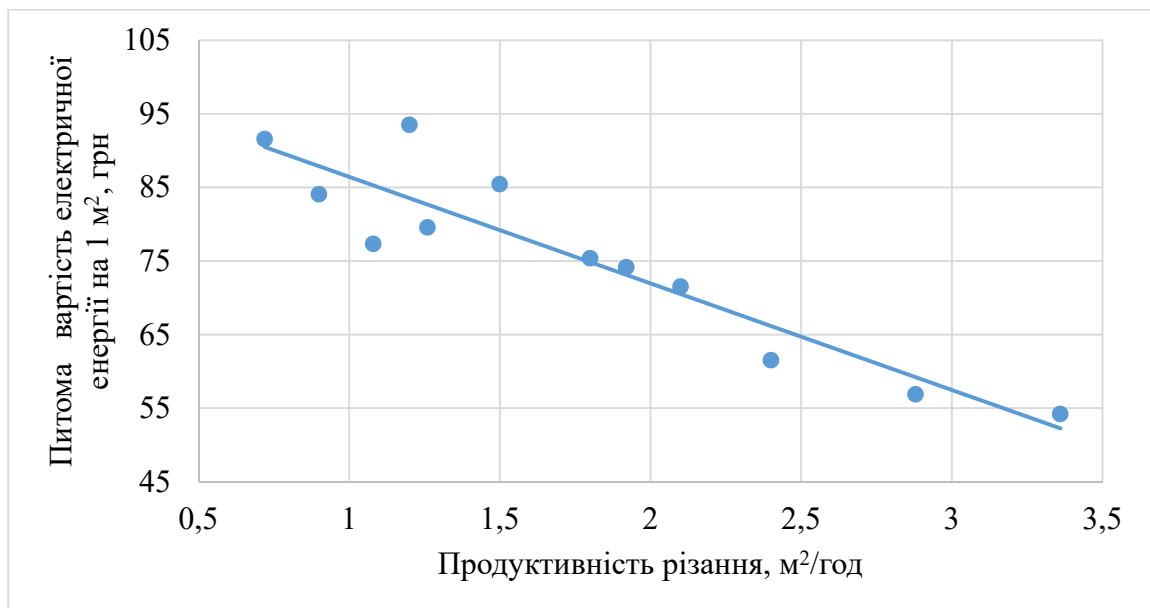


Рис. 3.10. Залежність питомої середньої вартості електричної енергії від продуктивності різання

На рис. 3.11 наведено залежність питомої вартості різання алмазним інструментом залежно від продуктивності дискової машини. Для розрахунку бралися нижче наведені дані. Вартість однієї напайки на дискову пилку станом на 01.01.2020 р. складає 119 грн. Вартість робіт з напаявання однієї напайки складає 25 грн. На триметрову пилку встановлюється 160 алмазних сегментів. При продуктивності пилки $1,5 \text{ м}^2/\text{год}$ ресурс роботи сегментів складає 800 м^2 .

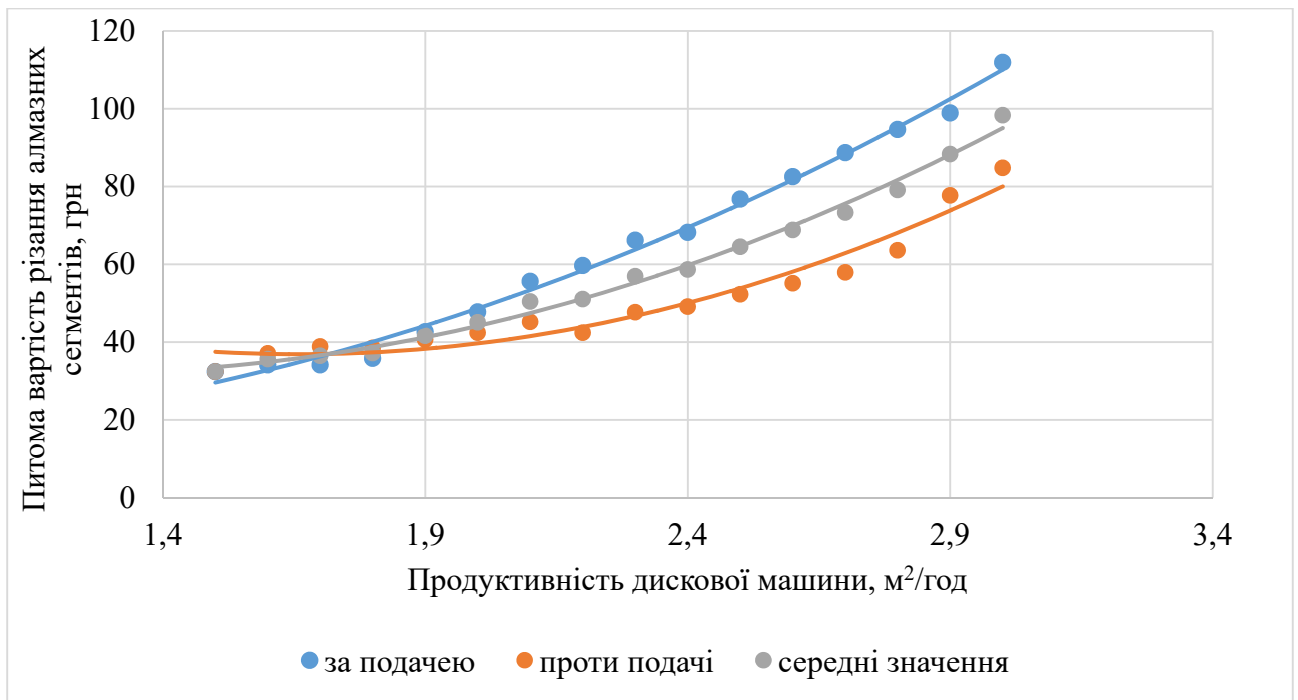


Рис. 3.11. Залежність питомої вартості різання алмазним інструментом залежно від продуктивності дискової машини

На рис. 3.12 наведено залежність вартості питомих трудовитрат на робочу силу залежно від продуктивності дискової машини.

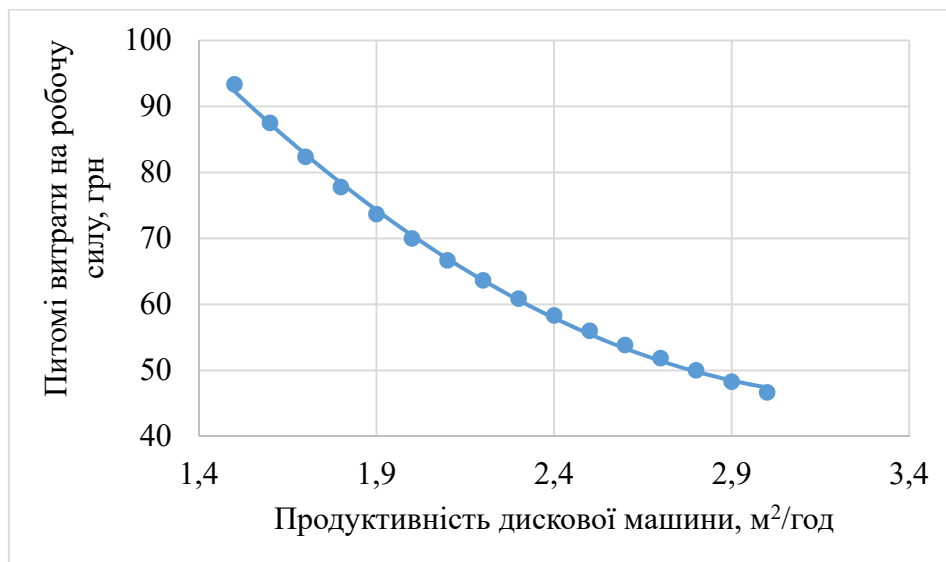


Рис. 3.12. Залежність вартості питомих трудовитрат на робочу силу залежно від продуктивності дискової машини

На рис. 3.13. наведено залежності зведених питомих витрат від продуктивності дискової машини.

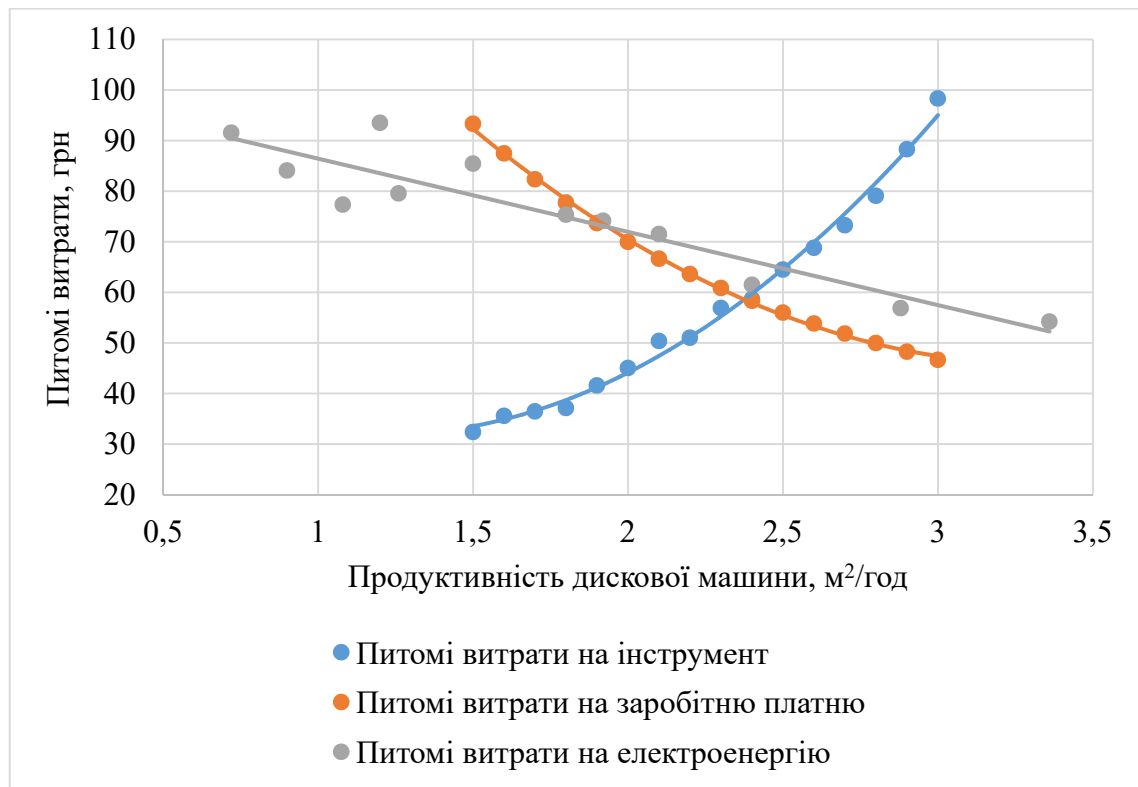


Рис. 3.13. Залежності зведених питомих витрат від продуктивності дискової машини

Також з даного дослідження випливає, що при збільшенні глибини різання в 2,7 рази витрата електроенергії збільшується в 1,5 рази. Таким чином, майже триразове збільшення глибини різання приводить до зменшення витрат на оплату праці та багатьох інших витрат. Збільшення глибини різання не призведе до потрібного збільшення споживання електроенергії. Разом з тим, триразове збільшення глибини різання також скоротить термін служби пилки (за рахунок збільшення зношення пилки), і тим самим збільшить витрати на різання в довгостроковій перспективі [38, 54, 99]. Зі зростанням швидкості різання зменшуються втрати на оплату праці робітників, разом з тим збільшуються витрати на алмазний інструмент. З економічної точки зору

найкращий режим різання буде відбуватися на максимальних значеннях режиму різання дискової машини.

При лабораторному різанні каменю можуть виникати проблеми з фіксацією заготовок. При різанні «проти подачі» заготовки невеликих розмірів можуть підніматися зі столу, що може впливати на достовірність даних, які отримані в процесі різання. Для невеликих верстатів різання «за подачею» забезпечує гарне прижимання заготовки до столу. Однак у реальних умовах дискова машина здійснює різання масиву гірської породи, який має велику масу при цьому зникає небезпека ненадійної фіксації заготовки. Але є небезпека виникнення вібрацій при руху дискової машини по рейкам, які укладені на дерев'яні підкладки або клини (рис. 3.14).



Рис. 3.14. Схема вкладання рейок дискової машини

Саме тому дана машина нездатна розвивати великі швидкості робочої подачі. При збільшенні робочої подачі дискової машини ми можемо спостерігати підвищене зношення інструменту, яке виникає внаслідок вібрацій дискової пилки. Саме тому дані дослідження дають змогу визначити найкращу глибину різання та робочу подачу для даного типу гранодіариту. Водночас при різанні «проти подачі» можливо збільшувати глибину різання або швидкість робочої подачі.

Висновки до розділу 3

1. З даного дослідження випливає, що швидкість робочої подачі інструменту має більший вплив на зношення інструменту, ніж глибина різання. Це можна пояснити тим, що робоча подача інструменту створює більші динамічні навантаження на алмазні напайки в процесі різання, що сприяє руйнуванню та виколюванню алмазів в напайках.

2. Глибина різання впливає на витрати інструменту менше порівняно з робочою подачею дискової машини. Також варто зауважити, що робоча подача здійснюється за рахунок руху машини по рейкам, які вкладені на дерев'яні клинки, що додатково створює динамічні навантаження.

3. При збільшенні глибини різання в 2,7 рази витрата електроенергії збільшується в 1,5 рази.

РОЗДІЛ 4. ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ВИБОРУ НАПРЯМУ ВЕДЕННЯ ГІРНИЧИХ РОБІТ ДЛЯ ДИСКОВИХ МАШИН

4.1. Встановлення питомої продуктивності різання природного каменю дисковими пилами

Облицювальні камені високої міцності мають анізотропні властивості. У дослідженнях Бакка М.Т. [100, 101] наголошується, що площини збігаються з напрямом найкращого розколу гранітних блоків, які розташовані приблизно паралельно поздовжнім тріщинам масиву. Таким чином продуктивність робітників, які зайняті розколюванням природного каменю на 60 % вище за інших рівних умов, порівняно з продуктивністю при відколюванні блоків від масиву в перпендикулярному напрямку і на 150 % вище продуктивності при направленні площини відколювання під прямим кутом до площини найкращого розколу. Тому формування об'ємних параметрів відокремлення монолітів від масиву, варто робити таким чином, щоб максимальна площа поверхні співпадала з напрямком найкращого розколу каменю, площа якого розташовується паралельно поздовжнім тріщинам.

Дослідженнями [102–105, 130-133], які проведені для високоміцних порід Українського кристалічного щита, було встановлено, що площини, за якими спостерігається найбільш слабе розщеплення мінеральних зерен в гірських породах, приблизно співпадають з директивним закінченням магми і дуже близькі до основного напрямку розвитку вертикальної поздовжньої тріщинуватості масиву.

У кварцевмістких породах одна з площин найкращого розколу паралельна сланцеватості та напрямку лінійності агрегатів зерен і співпадає з пластовими тріщинами. Друга – розташована вертикально і просторово орієнтована паралельно вертикальним поздовжнім тріщинам масиву, що співпадає з напрямом директивних структур руху магми. Враховуючи вище наведене, авторами було зроблено припущення, що аналогічна залежність виявиться і при різанні природного каменю дисковими машинами.

Перспективними напрямками удосконалення технології видобування блочного каменю є поліпшення невибухових технологій, які не впливають на розвиток техногенних тріщин. Однією з таких технологій є видобування природного каменю за допомогою дискових машин [91, 105]. Через низку переваг ця технологія має перспективи широкого поширення. Така технологія використовується в Китаї в умовах нагірних родовищ. В Україні ця технологія лише починає проходити випробування, зважаючи на це значна кількість аспектів залишаються не вивченими. Дослідження, які викладені в даній роботі дозволяють розширити знання про анізотропні властивості вітчизняних родовищ природного каменю.

У масивах родовищах декоративного природного каменю найбільший розвиток отримали три крутопадаючі системи тріщин (рис. 4.1): повздовжні (S), поперечні (Q) і діагональні (D). На частку поздовжніх і поперечних тріщин припадає від 75 до 85 % всіх крутопадаючих тріщин в масиві, причому кількісне співвідношення їх не завжди однакове і рівнозначне.



Рис. 4.1. Розподілення тріщин в масиві родовища природного каменю

За даними геологічних розвідок на Омелянівському родовищі вміст в масиві поздовжніх і поперечних тріщин становить відповідно 55 % і 29 %. На Сліпчицькому кар'єрі спостерігається перевищення поздовжніх тріщин над

поперечними – відповідно 50 % і 29 %. Тому в даній роботі розглядалися повздовжні та поперечні системи тріщин. З вибоїв діючих кар'єрів було проведено відбір проб (зразків) з одночасним орієнтуванням їх у просторі. Кількість зразків змінювалася від чотирьох до дванадцяти при загальній кількості 40 шт. на шість родовищ природного каменю.

Параметри систем тріщин для кожного з кар'єрів наведені в табл. 4.1. Уточнення азимутів простягання поздовжніх, поперечних і первинно-пластових тріщин масивів здійснювалося в діючих забоях гірничим компасом.

Таблиця 4.1

Параметри систем тріщин блочних кар'єрів

Родовище	Об'ємна маса, кг/м ³	Структура	Параметри виділених тріщин гірського масиву		Міцність на стискання, МПа
			азимут простягання вертикаль- них повздовжніх систем тріщин, град	азимут простягання вертикаль- них поперечних систем тріщин, град	
1	2	3	4	5	6
габро					
Кам'яно- брідське	2950– 3050	дрібна та середня зернистість	110–125	20–40	240–288
Сліпчицьке	2970	дрібна та середня зернистість	110–130	10–35	104–206

1	2	3	4	5	6
граніт					
Токівське	2670	дрібна та середня зернистість	120–150	35–65	225
Лезниківське	2650	середньо- зерниста	98–126	35–43	135–260
Дідковецьке	2675	середньо- зерниста	120–150	40–70	250
Омелянівське	2570	середньо- зерниста	130–155	35–20	120–240

Орієнтування зразків проводилося таким чином, щоб одна з площин співпадала з азимутом однієї з головних систем тріщин масиву (рис. 4.2). З проб були виготовлені зразки у формі прямокутних призм площиною перетину 100–256 см². Довжина третьої сторони змінювалася від 10 до 30 см. Зразки гірських порід були орієнтовані в просторі та промарковані. При їх орієнтації одна з площин співпадала з однією з головних систем тріщин масиву – вертикальною поздовжньою або вертикальною поперечною.

Розпилювання зразків проводилося на верстаті PLC 400, що має такі характеристики: частота обертання валу – 1420 об/хв, діаметр пилки – 400 мм, зусилля подачі – 60 Н. Для надання необхідного зусилля подачі було використано вантаж з металевих гирь, які надавали зусилля робочому шпинделю окантувального верстату за допомогою блоку та тросу. Схема проведення експерименту наведена на рис. 4.3.

Різання здійснювалося за напрямками, що співпадають з площинами поздовжніх та поперечних вертикальних систем тріщин масиву, при постійній швидкості обертання валу двигуна і постійному зусиллі подачі. Глибина різання за 1 прохід складала 3 см. В цьому випадку визначена питома

продуктивність різання – час, необхідний на здійснення 1 см^2 пропилю в гірській породі, що було показником трудомісткості різання даної породи дисковою пилкою.

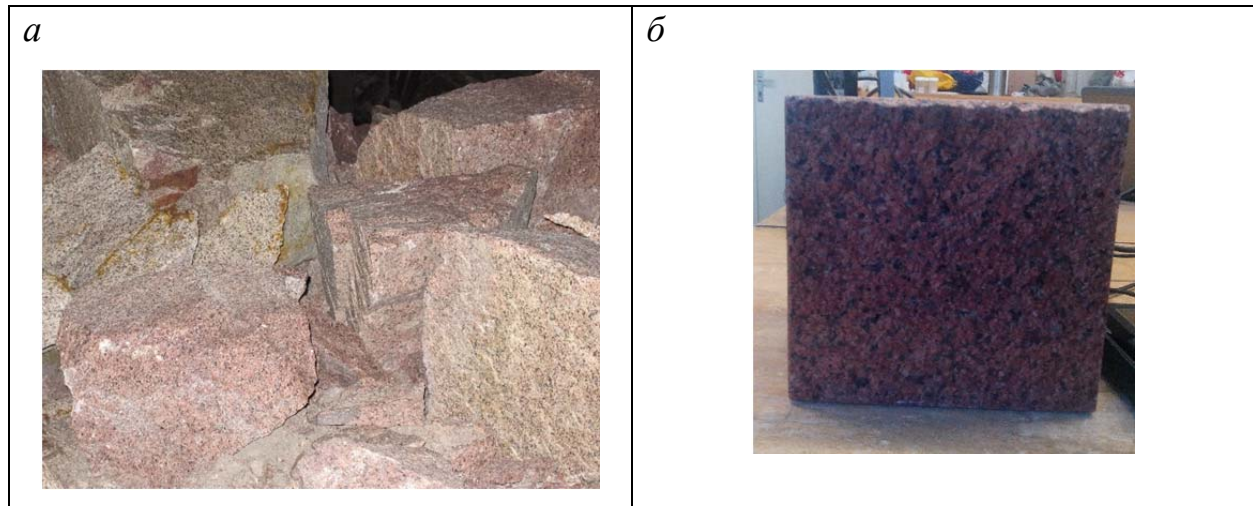


Рис. 4.2. Відбір зразків природного каменю з Лезниківського кар'єру
а – вигляд зразків на кар'єрі; б – вигляд обробленого зразка,
у якого одна сторона паралельна до існуючої системи тріщинуватості

Після кожного експериментального різку проводилася зачистка алмазоносного шару пили абразивом, вимірювалася площа різання і час на його виконання. Трудомісткість різання проводилася за показником питомої продуктивності різання. Цей показник визначався для кожного одиничного досліду, як середній суми дослідів для аналізованого напрямку різання окремого зразка.

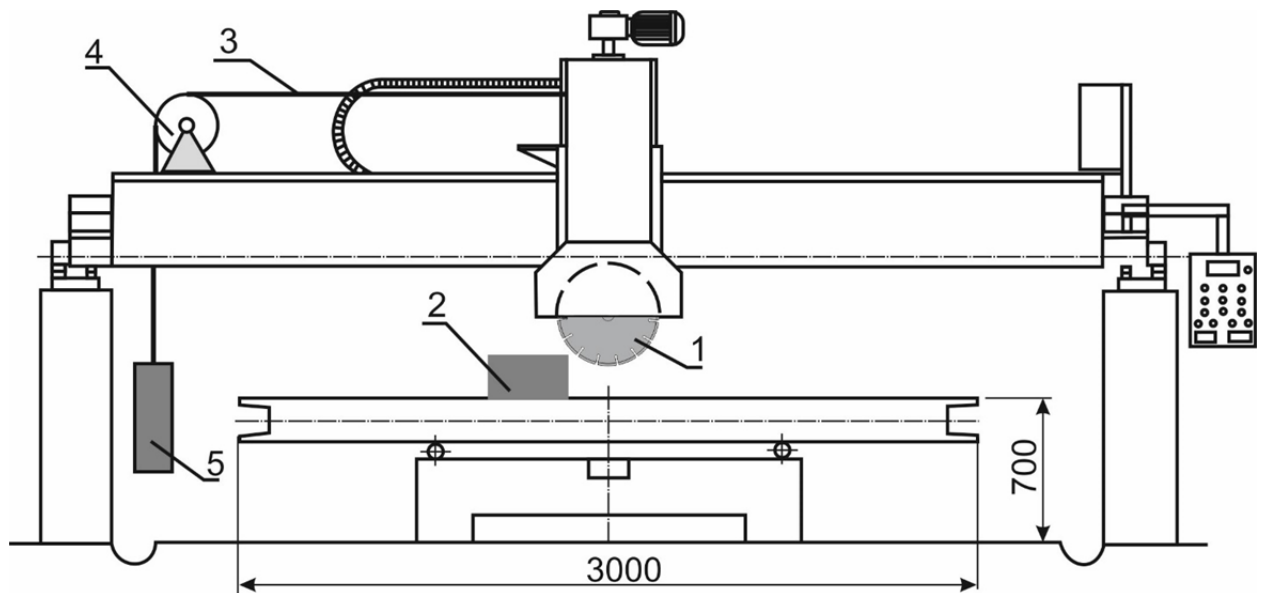


Рис. 4.3. Вигляд окантовувального верстата, на якому проводилося дослідження продуктивності різання природного каменю

- 1 – дискова пилка; 2 – зразок природного каменю; 3 – трос;
4 – ролик опора; 5 – вантаж (набір металевих пластин)

Кількість дослідів в кожному напрямку становило від 20 до 42. Питомі швидкості проведення пропилов за напрямками, що співпадають з вертикальними поздовжніми та поперечними системами тріщин масивів, наведені в табл. 4.2.

Для порід групи габро максимальна питома продуктивність різання спостерігається при розпилюванні порід по площинам, які паралельні площинам вертикальних поперечних систем тріщин масиву. Ця закономірність підтверджується орієнтуванням найбільш слабких зерен темноколірних мінералів біотитів у горизонтальній площині. Відносна різниця питомої продуктивності наведена на рис. 4.4 та розраховувалася за формулою:

$$\Delta = \frac{V_2 - V_1}{V_1} 100\%, \quad (4.1)$$

де V_1 – питома продуктивність за напрямими, які паралельні площинам вертикальних повздовжних систем тріщин масиву; V_2 – питома продуктивність за напрямими, які паралельні площинам вертикальних поперечних систем тріщин масиву.

Таблиця 4.2

Значення питокої продуктивності

Назва родовища	Кількість відібраних зразків, шт	Кількість пропилів, шт	Питома продуктивність за напрямами, які паралельні площинам систем тріщин масиву	
			вертикальним повздовжнім, см ² /с.	вертикальним поперечним, см ² /с.
габро				
Кам'янобрідське	8	42	1,6	1,97
Сліпчицьке	6	34	1,39	1,56
граніт				
Токівське	4	20	1,41	1,1
Лезниківське	8	38	1,24	0,92
Дідковицьке	8	32	1,15	0,82
Омелянівське	6	26	1,1	0,86

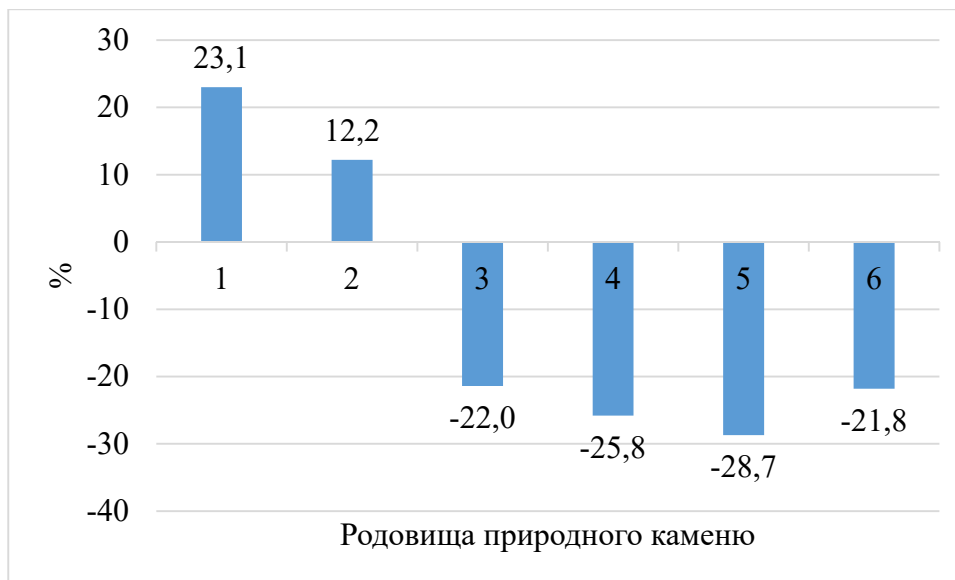


Рис. 4.4. Відносна різниця питомої продуктивності:

1 – Кам'янобрідське; 2 – Сліпчицьке; 3 – Токівське; 4 – Лезниківське;
5 – Дідковицьке; 6 – Омелянівське

Для порід групи гранітів у всіх дослідях швидкість проведення поздовжніх пропилів більше ніж поперечних пропилів. У зразках Токівського родовища відносна різниця між питомими продуктивностями різання при проведенні поздовжніх пропилів і поперечних пропилів становить відповідно 22,0 %. Це пов'язано з розшаровуванням біотитів і мікрокліну в площинах, які паралельні до вертикальних поздовжніх систем тріщин масиву.

В зразках Лезниківського і Дідковицького родовищ гранітів різниця між питомими швидкостями при проведенні поздовжніх та поперечних пропилів, становить 25,8 та 28,7 %. Найбільша продуктивність різання пояснюється розвитком інтенсивного двійникування мікрокліну в площинах, які паралельні поздовжнім пропилам.

В зразках Омелянівського граніту найбільша швидкість різання спостерігається при проведенні поздовжніх пропилів, що пов'язано з поздовжнім орієнтуванням кварцових зерен.

Тому для підвищення продуктивності дискових машин у вибоях необхідно здійснювати різання у напрямку за азимутами простягання і кутами падіння для гранітів – поздовжніх, габро – поперечних систем тріщин масиву.

4.2. Обґрунтування методики вибору напрямку ведення гірничих робіт для дискових машин при видобуванні блочного каменю

Дослідженнями [104, 106, 109, 118–121], які проведені для високоміцних порід Українського кристалічного щита, було виявлено, що площини, за якими спостерігається найбільш слабе розщеплення мінеральних зерен в гірських масивах, приблизно збігаються з директивним закінченням магми і дуже близькі до основного напрямку розвитку вертикальної поздовжньої тріщинуватості масиву.

У кислих породах одна з площин найкращого розколу паралельна сланцеватості і напрямку лінійності агрегатів зерен і співпадає з пластовими тріщинами. Друга – розташована вертикально і просторово орієнтована паралельно вертикальним поздовжнім тріщинам масиву, що співпадає з напрямком директивних структур закінчення магми. Максимальні відхилення від напрямку анізотропної подільності мають бути в таких межах: для крупнозернистих ізоморфних порід до $\pm 14^\circ$; для середньозернистих порід до $\pm 10^\circ$; для дрібнозернистих порід до $\pm 5^\circ$.

Видобувні вибої в кар'єрі необхідно розташовувати таким чином, щоб максимальна площа поверхні, по якій відокремлюється блок від вибою, збігалася з напрямком найбільш полегшеного розколювання каменю. Розрізні траншеї рекомендується проводити уздовж поздовжніх, а флангові – уздовж поперечних тріщин масиву. У цих випадках досягаються мінімальні нерівності відколу граней блоків, зменшується трудомісткість видобувних робіт.

За теорією Гриффітса-Ірвіна [107], при відомому значенні межі міцності гірської породи на розтяг, можна визначити довжину систем тріщин в кристалічних структурах:

$$l = E\gamma/\sigma_p, \text{ м}, \quad (4.2)$$

де E – модуль міцності, кг/см^2 , σ_p – межа міцності породи на розтяг, кг/см^2 , γ – поверхнева енергія, кг/см^2 .

Поверхнева енергія визначається розривом молекулярних зв'язків:

$$\gamma = \frac{1}{2} - b\sigma_t, \quad (4.3)$$

де b – міжатомна відстань, см , $b = 10^{-8} \text{ см}$; σ_t – теоретична міцність матеріалу, кг/см^2 .

$$\sigma_t = 0,1E, \text{ кг/см}^2. \quad (4.4)$$

Звідси формула (1) матиме вигляд:

$$l = (b/20)(E/\sigma_p)^2, \text{ м}. \quad (4.5)$$

Отже, для однієї і тієї ж гірської породи створення нових систем тріщин має проходити за площинами, які мають мінімальні межі міцності на розтяг.

При розколюванні гранітів ці площини співпадають з площинами з найбільш слабкою спаяністю мінералів. Тому було зроблено та підтверджено [106, 110] припущення, що аналогічна залежність проявиться при видобуванні блоків природного каменю дисковими машинами. Всі попередні дослідження тріщинуватості свідчать, що на досліджуваних родовищах існує закономірна система тріщин, що зайвий раз вказує на анізотропію інтрузивних масивів. Отже, для розуміння структури досліджуваних інтрузій необхідно зіставити структури течії магми і систему тріщин окремо, які генезисно пов'язані зі структурами течії. Результати досліджень публікацій [10, 111–113, 114–117]

свідчать, що напрямок найкращого розколювання та різання каменю значною мірою визначається структурно-текстурною будовою порід, яка оцінюється на основі аналізу шліфів в поляризованому світлі. Саме метод мікроструктурного дослідження може надати більш достовірні дані про анізотропію родовища. За допомогою цього методу можливо визначити напрями найменшого опору різання дисковим машинам, що підвищить ефективність видобувних робіт.

Якщо гірські породи формуються в процесі руху магми, то мінерали, що складають породи, набувають закономірного розташування в просторі, і тим більш виражені, чим швидший рух магми. Саме в результаті такого впливу виникає закономірне орієнтування мінералів у первинно розшарованих інтрузивних масивах зі смугастими і лінійними текстурами.

З метою дослідження впливу мікроструктур на напрям ведення гірничих робіт із застосуванням дискових каменевидобувних машин було досліджено Головинське родовище лабрадориту. У міру вивчення лабрадоритів Головинського родовища, яке має ознаки внутрішніх рухів були встановлені зв'язки між орієнтуванням мінералів і планом руху магми, що дозволило провести кінематичну інтерпретацію досліджених орієнтувань.

Для проведення мікроструктурного аналізу відбиралися зразки на Головинському родовищі лабрадоритів [6]. У зв'язку з великою зернистістю лабрадориту на Головинському родовищі була проведена серія відбору орієнтованих в просторі зразків. Відповідно, при відборі зразка проводилося його маркування. Для цього на рівному майданчику (де спостерігається краща шаруватість або сланцюватість) маркером наносилися лінії падіння і простягання і записувалися їх координати (наприклад: $315^\circ \text{ ПнСх} < 70^\circ$). Якщо майданчик був горизонтальний, наводилася одна координата (азимут) однієї лінії на цьому майданчику.

У місці відбору зразка здійснювалися вимірювання всіх макроскопічно виражених лінійних і площинних структурних елементів: шаруватості, смугастості, лінійності. З відібраних орієнтованих зразків вирізалися орієнтовані шліфи.

Перед проведенням мікроструктурного аналізу шліф вивчався на плоскому столику і описувалися мінерали (рис. 4.5). Далі сукупність зерен одного мінералу поділялася на групи за такими ознаками, найбільш важливими з яких є:

- 1) розмір, форма, ступінь ідіоморфізму, характер знаходження в породі (основна тканина);
- 2) наявність включень – зерна можуть бути чисті прозорі та замутнені за рахунок диспергування речовини; важливе значення набувають зерна з включеннями метастабільних фаз;
- 3) ознаки деформацій – наявність зерен, які вигнуті, подвійні, з кінк-зонами, з хвилястим, хмарним, блоковим згасанням, зламани.

Визначивши набір мінералів для вивчення дискримінуючих ознак зерен одного мінералу, можна приступити до їх мікроструктурного вивчення. Для цього федорівський столик приводиться в робоче положення; для того щоб шліф міг пересуватися тільки паралельно, використовувалися спеціальні рамки, що входять в комплект всіх сучасних моделей мікроскопів з федорівськими столиками.



Рис. 4.5. Мікрофотографія шліфа лабрадора

Для проведення мікроструктурного аналізу використовувалася сітка Вульфа і матова калька трохи більшого діаметра. В спеціальному журналі

записувалися основні відомості про зразок, який досліджувався: номер, назва породи, місце відбору і дані вимірювань структурних елементів в оголенні, схематична зарисовка шліфа з його маркуванням, назва досліджуваного мінералу. Вимірювання координат осей, значення кутів і визначені на плоскому столику дискримінуючі ознаки записувалися в розграфлені в журналі стовпці. Додаткові ознаки і відомості про зерно мінералу записуються в графі "Примітки". Zenітні координати осей для зручності записувалися у верхньому інтервалі ($0-90^\circ$), оскільки це значно полегшує подальше винесення точок на діаграму.

Враховуючи статистичний характер мікроструктурного аналізу і його високу трудомісткість, обробка та побудова діаграм проводилася за мінімальним усередненням (з 3-5 замірів) числом вимірювань, що забезпечує стійкий візерунок на діаграмі.

Побудовані у вигляді ізоліній діаграми густин розподілу точок (проекцій осей) зазвичай характеризуються певним візерунком, який відображує будову мінералу, тобто закономірність його знаходження в породі. Ізотропна будова породи характеризується дуже широкою сферою розсіювання осей без помітної їх концентрації.

При аналізі кінцевого візерунка необхідно знайти його центр і радіус (апикальний кут конуса). Для цього треба провести серію додаткових побудов на стереосітці. На рис. 4.6 зображений візерунок з локалізацією осей уздовж дуги малого кола. Є три максимуми з центрами А, В і С. Спочатку на діаграмі наносять площини S_A , S_B , S_C нормальні до А, В і С. Вони перетинаються в трьох точках АВ, АС і ВС. Потім проводять три площини S_{AB} , S_{AC} , S_{BC} нормальні до цих точок. У цих площинах лежать пари максимумів: А і В, А і С, В і С. Після цього, поєднавши площини S_{AB} , S_{AC} , S_{BC} з меридіанами і визначивши кути між максимумами, знаходять діагональні точки, що ділять ці візерунки навпіл: D_{AB} , D_{AC} , D_{BC} . Далі проводять діагональні площини через діагональні точки і точки перетину однойменних площин, тобто через $D_{AB}-AB$, $D_{AC}-AC$ і $D_{BC}-BC$. Точка перетину всіх трьох площин являється центром кінцевої

поверхні π , уздовж якої концентрують осі. При перетині діагональних площин може виникнути невеликий трикутник похибок, в цьому випадку центром конічної траєкторії є "центр ваги" цього трикутника.

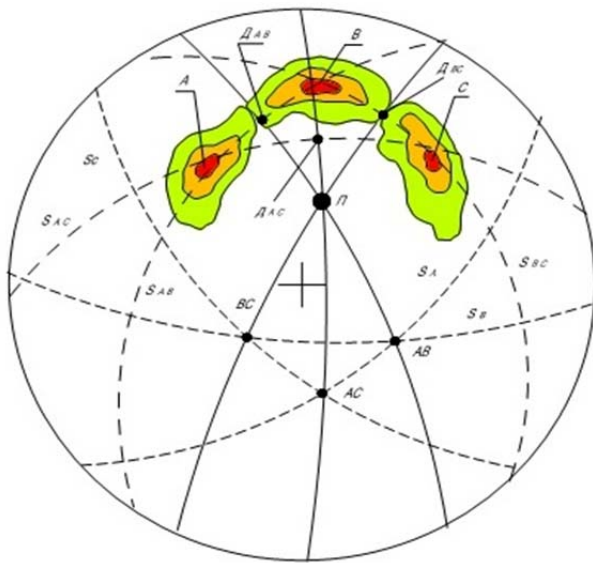


Рис. 4.6. Знаходження центру і радіуса малоколової траєкторії на краю стереопроєкції

Визначивши центр конічного візерунка і радіус конуса, тобто його апікальний кут, для наочності необхідно накреслити проєкцію конічної поверхні або її частини. У тих випадках, коли центр збігається з краєм діаграми, то його треба з'єднати з полюсами і провести малоколову траєкторію, використовуючи паралелі стерео проєкції.

Відстані між пластовими тріщинами Головинського родовища лабрадоритів коливаються в значних межах від 1 до 3 і навіть 5 м. Середні величини порівняно близькі 2–3 м. Відстань між вертикальними тріщинами коливається ще в більш широких межах – від 1 до 8 і навіть 10 м. Середня відстань становить 6,2 м. З наведених даних видно, що на Головинському родовищі лабрадоритів відстань між тріщинами дозволяє отримати порівняно великі моноліти від $1 \times 2 \times 4 = 8 \text{ м}^3$ до $2 \times 5 \times 10 = 100 \text{ м}^3$.

За вимірами азимутів простягання і падіння тріщин, а також за кутами падіння [6] їх у кар'єрі побудовані точкові кругові діаграми, які дозволили зробити висновки про закономірності поширення основних тріщин (рис. 4.7). На Головинському родовищі поздовжні тріщини «S» і поперечні «Q» мають

порівняно близькі азимути простягання і ореоли розсіювання. Азимут простягання тріщин «S» знаходиться в межах $15-40^\circ$, азимут простягання тріщин «Q» знаходиться в межах $100-120^\circ$. Ореоли розсіювання тріщин на Головинському родовищі лабрадоритів знаходиться в межах $20-30^\circ$. Водночас кути діагональних тріщин становить $40-45^\circ$. Кути поздовжніх і поперечних тріщин є круті – $70-90^\circ$ до пластових від 0 до 20° , іноді 30° .

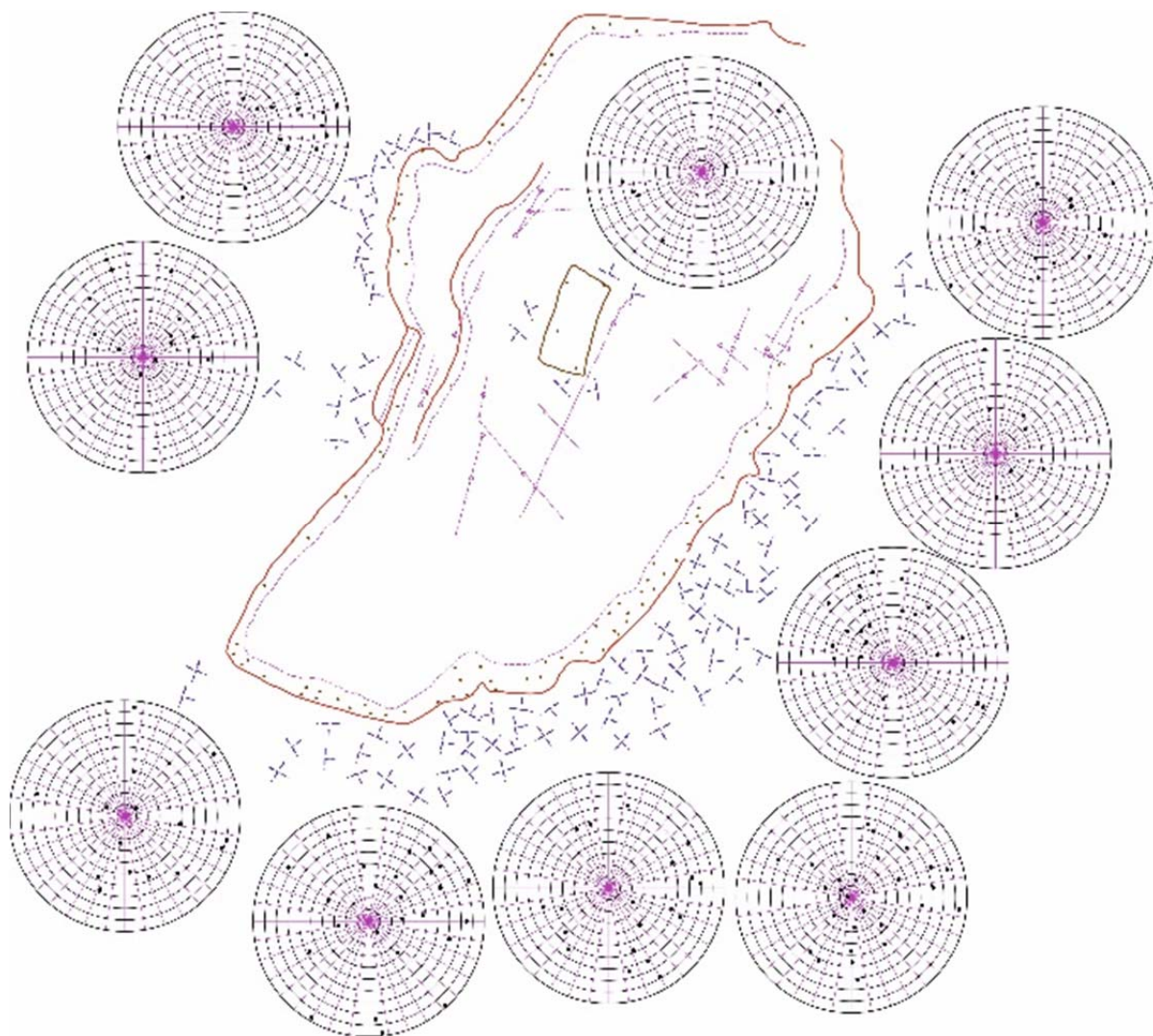


Рис. 4.7. Діаграми тріщинуватості Головинського родовища лабрадоритів

Наведені дані свідчать про те, що розподіл тріщин дозволяє отримувати окремі порівняно правильної паралелепіпедної форми.

Площини тріщин рівні, гладкі, іноді шорсткі, покриті нальотами гідроксидів заліза і хлориту, потужність тріщин 2–4 мм, рідко до 1 см в зоні вивітрювання.

Наявність тріщин впливає на вихід блочної продукції. Іноді вдавалося отримати моноліти до 5-6 м завдовжки при висоті 2–3 м. Відсутність горизонтальних тріщин несприятливо позначається на відколюванні блоків. Доводиться бурити горизонтальні шпури для відокремлення моноліту з масиву, що створює іноді штучну тріщинуватість природного каменю. У зоні вивітрювання кількість тріщин різко зростає.

Через неможливість визначити орієнтацію тріщин по дну кар'єра через засміченість, була знижена точність замірів.

За результатами мікроструктурного дослідження були одержані напрями найлегшого різання [6] дисковими пилами для Головинського родовища лабрадориту. Результати дослідів представлені у додатку Г.

Виконаний кореляційний аналіз взаємозв'язку рекомендованого напрямку відколу з азимутом простягання 45 тріщин [6] для Головинського родовища лабрадориту встановив наявність кореляційного зв'язку (рис. 4.8).

Для оцінки тісноти зв'язку між цими величинами скористаємось коефіцієнтом кореляції:

$$r = \frac{\sum x \cdot y - \frac{\sum x \cdot \sum y}{n}}{\sqrt{C_x C_y}} = -0,755. \quad (4.6)$$

Похибка репрезентативності коефіцієнта кореляції:

$$m_r = \pm \sqrt{\frac{1 - 0,755^2}{45 - 2}} = 0,010. \quad (4.7)$$

Дослідимо вірогідність коефіцієнта кореляції:

$$t_r = \frac{r}{m_r} = -7,55. \quad (4.7)$$

Стандартне значення критерію Стьюдента $t_{st} = 2,017$ для $\nu = 45 - 2 = 43$, $\beta = 0,95$.

Оскільки $t_r = 7,55 > t_{st} = 2,017$, то кореляційний зв'язок вірогідний.

Значення коефіцієнту кореляції, яке близьке до 1, свідчить про досить тісний зв'язок між параметрами, що розглядаються.

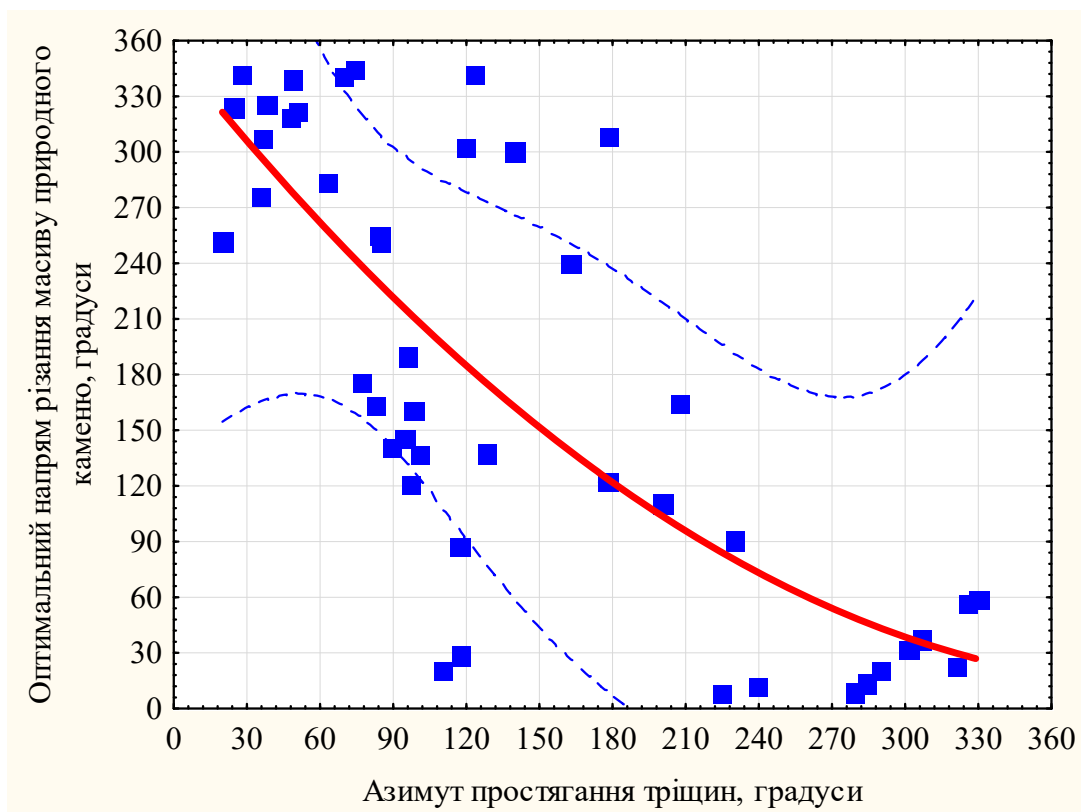


Рис. 4.8. Залежність напрямку оптимального різання дисковими машинами від азимуту простягання тріщин для Головинського родовища лабрадориту

Це дозволяє створити математичну модель об'єкта дослідження.

Будемо вважати, що залежність між приведеними змінними x та y має вигляд:

$$y = b_2 x^2 + b_1 x + b_0, \quad (4.8)$$

необхідно обчислити значення параметрів b_2, b_1, b_0 . Для знаходження даних параметрів за результатами досліджень використовували метод найменших квадратів.

Цей метод дає можливість визначити коефіцієнти b_2, b_1, b_0 , необхідні для встановлення закономірності, яка описує залежність між параметрами, що досліджуються.

В результаті отримали наступні значення:

$$b_2 = 0,002;$$

$$b_1 = -1,6411;$$

$$b_0 = 353,4459.$$

Таким чином це дало змогу знайти вигляд регресії:

$$y = 0,002x^2 - 1,6411x + 353,4459. \quad (4.9)$$

Оскільки дійсно $F(1,06) < F_{кр}(1,84)$, то гіпотеза про незначимість моделі відхиляється.

Коефіцієнт детермінації $k_d = 0,59$, що свідчить про те, що отримане рівняння регресії на 59 % пояснює загальний розкид результатів відносно середнього значення.

Оцінка просторової орієнтації оптимального напрямку різання дисковими машинами (рис. 4.9) виконувалась на основі побудови градієнту зміни

оптимального напрямку різання. Для інтерполяції використовувався метод триангуляції з лінійною інтерполяцією. Аналіз магнітуди просторової орієнтації оптимального напрямку різання дозволяє визначити домінантні напрямки 40-60, 200-220 та 300-320 градусів .

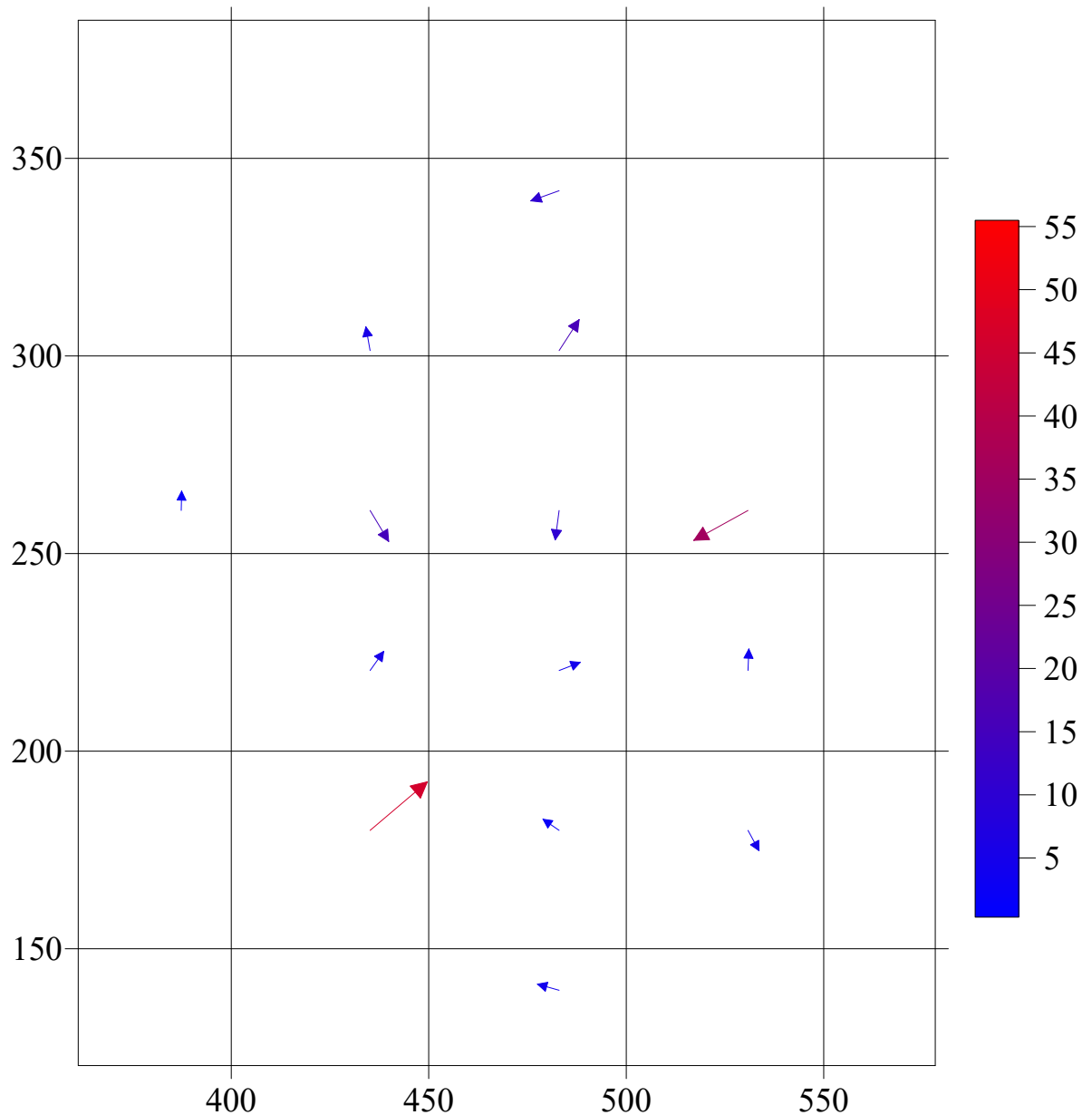


Рис. 4.9. Оцінка просторової орієнтації оптимального напрямку різання дисковими машинами (кольорова шкала відображає магнітуду напрямків)

Оцінка співвідношення напрямків оптимального різання з азимутами падіння тріщин виконана на основі побудови карти векторів (рис. 4.10), дозволяє стверджувати про наявність зв'язку між зазначеними вище параметрами у південній частині, де більшість значень збігається, та дозволяє

стверджувати про наявність чітких закономірностей орієнтації в західній частині, де більшість векторів перетинаються під близькими кутами. Північна частина родовища характеризується певною хаотичністю напрямків, що однозначно може свідчити про складність прогнозу анізотропних властивостей в цій частині родовища.

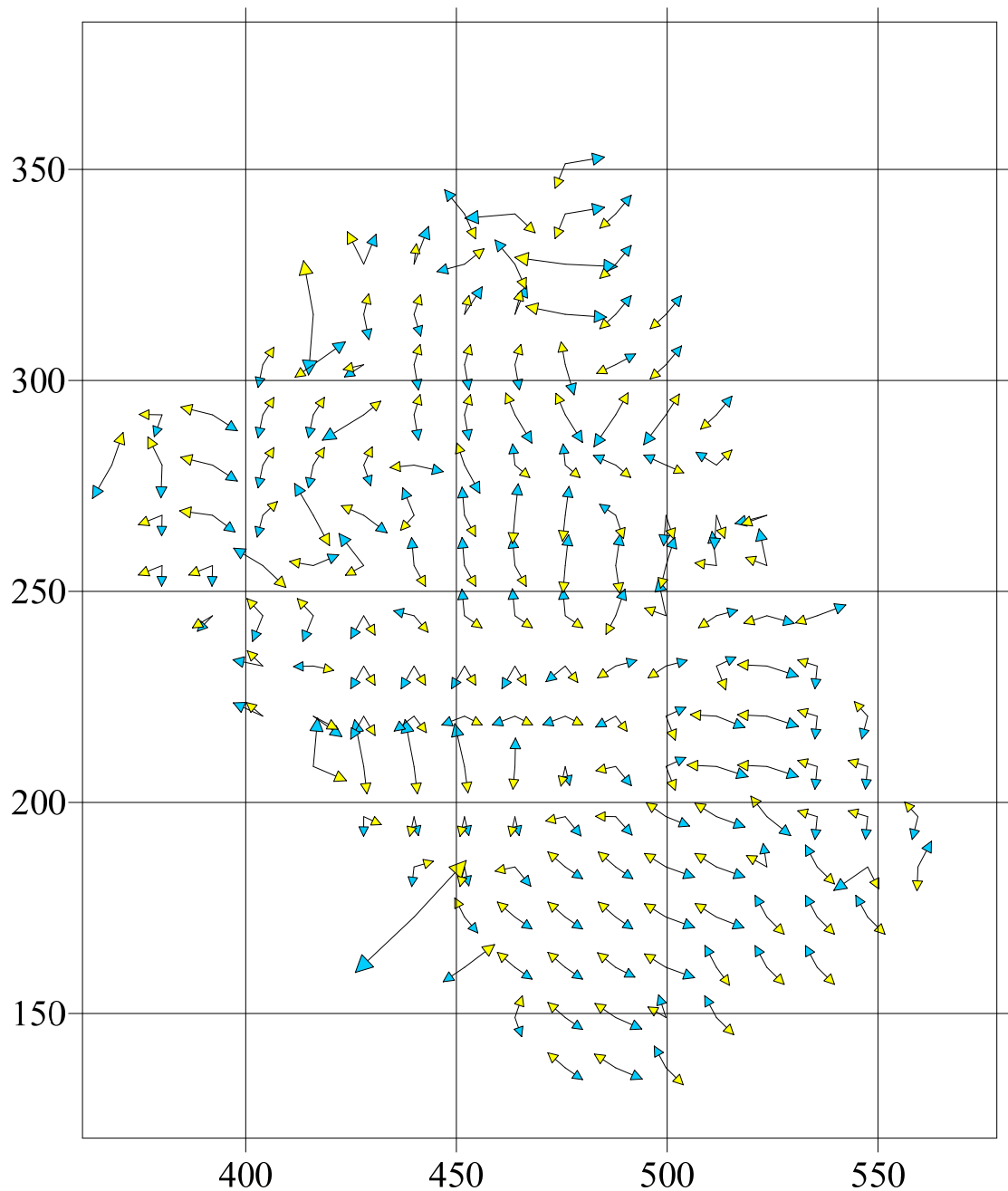


Рис. 4.10. Співвідношення напрямків оптимального різання з азимутами падіння тріщин (жовтий – напрямок тріщин, блакитний – напрямок різання)

Після визначення найкращого напрямку ведення гірничих робіт для кожної з ділянок масив був поділений на блоки (рис. 4.11). Гірничо-геометричний аналіз [129] отриманих даних з метою пошуку найкращого напрямку ведення гірничих робіт відносно існуючої системи тріщин та обчислення основних параметрів видобувного контуру кар'єру виконувався за допомогою програми GEOL_DH версії 7.936. Програма GEOL_DH, а саме її модуль GEOL_QUA, дозволяє виконувати нарізання блоків для видобування каменю в контурі з можливістю редагування розмірів стовпців або рядів блоків, видалення блоків, редагування їх класу, підрахунок запасів каменю за класами якості блоків.

Розмір блоків, які вписувалися в план тріщинуватості, відповідав оптимальній площі підрізання горизонтальної площини моноліту алмазно-канатною машиною (30 м^2) і становив $10 \times 3 \times 1,2 \text{ м}$. Проводилася оцінка виходу блоків з кожної фігури. Таким чином було проведено оцінювання Пд-Зх ділянки родовища. Обрахунок коефіцієнта виходу блоків здійснювався для кожного напрямку ведення робіт через кожні 5° .

Як видно з результатів розрахунку, при дотриманні оптимального напрямку, порівняно з прийнятим на підприємстві за прогнозований, вихід блоків зростає з 1050 м^3 до 1380 м^3 , що доводить потребу і ефективність даного алгоритму для визначення напрямку ведення гірничих робіт з метою підвищення раціональності використання сировини родовища і покращення його техніко-економічних показників.

Умовні позначення:

- Низька блочність
- Середня блочність
- Висока блочність

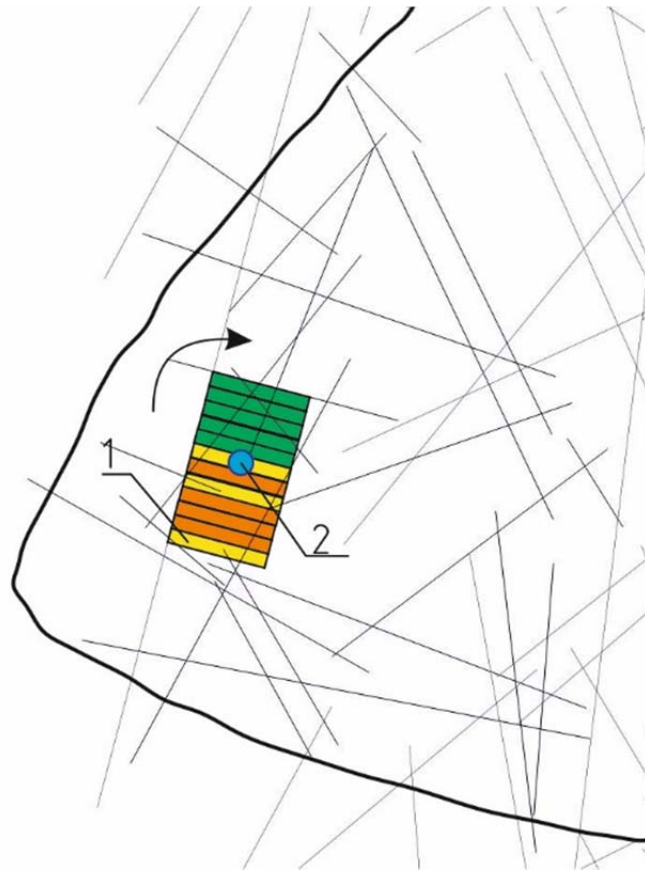


Рис. 4.11. Схема орієнтування первинних монолітів, які вирізаються дисковими пилами, відносно тріщин

1 – моноліт $10 \times 3 \times 1,2$ м; 2 – точка відносно якої проводилося обертання орієнтації ведення гірничих робіт (напрямок нарізання монолітів дисковою пилою)

На рис. 4.12 наведена залежність зміни коефіцієнта виходу блоків природного каменю від кута повороту напрямку розробки для ділянки № 1 Головинського родовища лабрадориту.



Рис. 4.12. Графік залежності коефіцієнта виходу блоків від зміни кута повороту ведення гірничих робіт

Графік показує оптимальний напрям розробки ділянки № 1 Головинського лабрадориту – 310° , при якому коефіцієнт виходу блоків складає 38 %, в даному випадку цей напрям співпадає з вертикальними поперечними тріщинами.

Висновки до розділу 4

1. Продуктивність різання природного облицювального каменю залежить не тільки від фізико-технічних характеристик гірських порід, але й також визначається напрямками площин руйнування даної породи.

2. Максимальні продуктивності різання блоків каменю спостерігаються по площинах, які проходять паралельно системам тріщинуватості родовищ природного каменю: для граніту – поздовжнім, для габро – поперечним.

3. Відносна різниця між швидкостями при різанні заготовок каменю за площинами, що паралельні поздовжнім і поперечним системам тріщин, яка становить:

- в масивах граніту – в середньому 24,4 %;
- в масивах габро – в середньому 18 %.

4. За результатами мікроструктурного дослідження були одержані напрями найлегшого різання дисковими пилами для Головинського родовища лабрадориту.

5. В результаті виконаних досліджень вивчено закономірності просторової мінливості напрямків оптимального різання для родовищ лабрадоритів. Встановлена аналітична залежність напрямку оптимального різання дисковими машинами від азимуту простягання тріщин у вигляді поліному другого ступеня для прогнозування оптимального напрямку різання для Головинського родовища лабрадориту.

6. В результаті виконаних розрахунків були отримані численні статистичні дані. Ці дані ясно показують вплив на ефективність реалізації гірничих робіт залежності напрямку ведення видобувних робіт у кар'єрі від природної тріщинуватості масиву.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі встановлених зв'язків режимів різання з напрямками орієнтування мінеральних анізотропних структур блочного каменю та закономірностей поширення основних систем тріщин отримано нове вирішення актуальної науково-практичної задачі з обґрунтування технологічних параметрів видобування блочного каменю дисковими машинами, що забезпечить в технологічних процесах ТОВ «Головинський камінь», ТОВ «ГАБРОГОР» збільшення виходу блочної сировини з сумарним очікуваним економічним ефектом 557 тис. грн. на рік

Основні наукові та практичні результати роботи полягають в наступному:

1. При реалізації технології видобування блоків із застосуванням дискової каменерізної машини експлуатаційні втрати сировини становитимуть 1,32 %, в порівнянні з алмазно-канатною технологією, де втрати складають – 1,45 %.

2. Залежність продуктивності дискової машини на Покостівському кар'єрі від довжини різання описується логарифмічною функцією і доводить, що при збільшенні фронту робіт з 5 до 60 м продуктивність дискової машини зростає з 1,8 до 4,8 м²/год;

3. Встановлено закономірність зношення алмазної напайки дискової машини від продуктивності різання, яка дозволила встановити, що для умов Покостівського гранодіориту з ростом продуктивності в 2 рази питоме зношення сегментів збільшується в 3,45 рази за напрямом різання «за подачею» та в 2,62 рази «проти подачі».

4. Встановлено залежності швидкості робочої подачі від споживання електроенергії двигуном дискової машини при постійній глибині різання на гранодіориті, які показують, що при збільшенні глибини різання в 2,7 рази витрата електроенергії збільшується в 1,5 рази. Вплив глибини різання на споживання електроенергії при постійній робочій подачі описується поліномами другого порядку.

5. Відносна різниця між швидкостями при різанні заготовок каменю за площинами, які паралельні поздовжнім і поперечним системам тріщин становить:

- в масивах граніту – в середньому 24,4 %;
- в масивах габро – в середньому 18 %.

6. У результаті виконаних досліджень вивчено закономірності просторової мінливості напрямків раціонального різання по відношенню до системи повздовжніх (S), поперечних (Q) і діагональних (D) тріщин та встановлена аналітична залежність у вигляді поліному другого ступеня для прогнозування раціонального напрямку різання, що дозволило, для Головинського родовища лабрадориту, збільшити вихід блоків до 38 %.

7. Виконані дослідження з вивчення закономірності просторової мінливості напрямків раціонального різання по відношенню до систем тріщин можуть бути використані в технологічних процесах ТОВ «Головинський камінь», ТОВ «ГАБРОГОР», очікуваний економічний ефект 557 тис. грн. на рік.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гелета О. Л. Статистичні дослідження і аналіз кризових явищ 2018 років на ринку декоративного каміння на прикладі динаміки експортно-імпортних операцій в Україні. *Коштовне та декоративне каміння*. 2018. № 1. С. 14–21.
2. Гелета О. Дослідження зовнішньоекономічного обігу декоративного каменю в Україні. *Коштовне та декоративне каміння*. К. : ДГЦУ, 2009. № 2 (56). С. 28–33.
3. Гелета О. Л. Дослідження зовнішньоекономічного обігу декоративного каміння в Україні (2008 рік). *Коштовне та декоративне каміння*. 2008. № 1 (54). С. 28–33.
4. Ржевский В. В. Открытые горные работы: Производственные процессы. М. : Недра, 1985. Ч. 1. 509 с.
5. Ржевский В. В. Открытые горные работы: Технология и комплексная механизация. М. : Недра, 1985. Ч. 2. 549 с.
6. Трубецкой К. Н. Технология применения и параметры карьерных погрузчиков. М. : Недра, 1985. 264 с.
7. Косолапов А. И. Технология добычи облицовочного камня. Красноярск : Изд-во КГУ, 1990. 192 с.
8. Бакка Н. Т. Разработка технологии и комплексов оборудования добычи блоков из высокопрочных трещиноватых пород : дисс. ... д-ра техн. наук : 05.15.03 / Житомир, 1986. 378 с.
9. Карасев Ю. Г., Бакка Н. Т. Природный камень. Добыча блочного и стенового камня. Учеб. пособ. СПб. : СПГИ, 1997. 428 с.
10. Sobolevskyi R., Shlapak V. Quality control of drilling operations for efficiency upgrading of creation of separation plane by lineage drilling. *Metallurgical and mining industry*. 2016. №. 2. P. 167–173.
11. Exploring the efficiency of applying fractal analysis for the process of decorative stone quality control / Sobolevskyi R. et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. №. 6/3 (84). P. 32–40.

12. Першин Т. Д., Гуров М. Ю., Чеботарев Г. И. Канатные пилы. Обоснование конструктивных параметров и режимов работы. Магнитогорск : ГОУ ВПО «МГТУ им. Носова», 2006. 152 с.
13. Бычков Г. В. Направления повышения эффективности технологий добычи и обработки природного камня на урале : дис. ... д-ра техн. наук : Специальность 2. Екатеринбург, 2003. 385 с.
14. Коробійчук В. В., Іськов С. С. Вплив довжини сегмента на працездатність дискового інструменту. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. Дніпропетровськ : НГУ, 2011. № 2 (122). С. 128–131.
15. Аглюков Х. И., Гуров М. Ю. Обоснование эффективной технологии добычи блочного гранита. *Добыча, обработка, применение природного камня*. Магнитогорск : МГТУ, 2003. С. 114–117.
16. Давтян К. Д., Левковский Г. Л. Технология алмазно-канатного пиления и комплексное использование минерального сырья ; за ред. К. Н. Трубецкого. М. : ИКОН РАН, 2004. 288 с.
17. Першин Г. Д. Энергетический принцип расчета поверхностного разрушения горных пород алмазно-абразивным инструментом. *Изв. Вузов. Горный журнал*. 1992. № 6. С. 69–76.
18. Першин Г. Д., Гуров М. Ю., Ахметшин М. А. Поверхностная прочность природного камня. *Добыча, обработка и применение природного камня*. Сборник трудов. Магнитогорск : МГТУ, 2003. С. 159–169.
19. Першин Г. Д., Сердюков В. В., Гуров М. Ю. Основные критерии процесса обработки природного камня алмазно-абразивным инструментом. *Добыча, обработка и применение природного камня*. Сборник трудов. Магнитогорск : МГТУ, 2000. С. 109–119.
20. Визначення оптимального напрямку ведення гірничих робіт при видобуванні блоків з природного каменю / Криворучко А.О. та ін. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія. Технічні науки*. Житомир, 2016. № 3 (78). С. 150–163.

21. Коробійчук В. В. Дослідження впливу розмірів первинного моноліту природного каменю на питомі втрати природного каменю. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія. Технічні науки*. 2012. № 1 (57). С. 150–154.
22. Коробійчук В. В. Удосконалення системи поточного планування видобування блоків природного каменю. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія. Технічні науки*. 2012. т. 1, № 3 (62). С. 122–125.
23. Коробійчук В. В. Дослідження тріщинуватості Лезниківського родовища гранітів з перспективою видобутку блочної продукції. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. Харьков : Технологический центр, 2013. Вып. № 6/5 (66). С. 23–28.
24. Cluster analysis of fracturing in the deposits of decorative stone for the optimization of the process of quality control of block raw material / Sobolevskyi R. et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Issue 5/3 (83). P. 21–29.
25. Левицький В. Г. Управління якістю і паспортизація блочної продукції на кар'єрах декоративного каменю на основі наземної цифрової фототеодолітної зйомки. *Вісник ЖДТУ. Технічні науки*. №3 (62). 2012. С. 126-136.
26. Weakening of rock strength under the action of cyclic dynamic loads / Korobiichuk V. V. et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 2/5 (92). С. 20–25.
27. Сычев Ю. И. Трудоемкость обработки камня. *Империя камня*. 2002. № 1–2. С. 20–23.
28. Назаренко С. В., Дагпян К. Д. Повышение эксплуатационных показателей алмазно-канатных контуров. *Камень и бизнес*. 2003. № 2. С. 30–32.
29. Yurdakul M., Akdas H. Prediction of specific cutting energy for large diameter circular saws during natural stone cutting. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2012. Vol. 53. P. 38–44.

30. Ozelik Y., Yilmazkaya E. The effect of the rock anisotropy on the efficiency of diamond wire cutting machines. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2011. Vol. 48. №. 4. P. 626–636.
31. Коробійчук В. В. Управління якістю каменю блоків декоративного каменю за допомогою кваліметричних та інформаційно-комп'ютерних технологій : дис. ... к.т.н. : 05.15.03 / Житомир, 2008. 230 с.
32. Калинин М. А. Обоснование параметров технологии добычи и распиловки блоков прочных пород : дис. ... к.т.н. : 25.00.22 / Москва, 2005. 130 с.
33. Казарян Ж. А. Природный камень. Добыча, обработка, применение. Справочник. М. : Петрокомплект, 1998. 252 с.
34. Косолапов А. И. Технология добычи облицовочного камня. Красноярск : Изд-во КГУ, 1990. 192 с.
35. Калинин М. А. Методика определения рациональных режимов работы алмазно-канатных установок при добыче блоков прочных пород. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. М. : МГГУ, 2004. № 10. С. 61–62.
36. Ertingshausen W. Wear processes in sauring hard stone. *Industrial Diamond Review*. 1985. Vol. 45. №. 510. P. 254–258.
37. Konstanty J. Theoretical analysis of stone sawing with diamonds. *Journal of materials processing technology*. 2002. Vol. 123. №. 1. P. 146–154.
38. Konstanty J. Diamond bonding and matrix wear mechanisms involved in circular sawing of stone. *Industrial Diamond Review*. 2000. Vol. 60. №. 584. P. 55–56.
39. A statistical method for practical assessment of sawability of rocks / Unver B. et al. ISRM International Symposium-EUROCK 96. *International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering*, 1996.
40. Luo S. Y. Investigation of the worn surfaces of diamond sawblades in sawing granite. *Journal of materials processing technology*. 1997. Vol. 70. №. 1–3. P. 1–8.

41. Webb S. W., Jackson W. E. Analysis of blade forces and wear in diamond stone cutting. *Journal of manufacturing science and engineering*. 1998. Vol. 120. №. 1. P. 84–92.
42. Xu X. Friction studies on the process in circular sawing of granites. *Tribology Letters*. 1999. Vol. 7. №. 4. P. 221–227.
43. Sun L., Pan J., Lin C. A new approach to improve the performance of diamond sawblades. *Materials Letters*. 2002. Vol. 57. №. 4. P. 1010–1014.
44. Cost-effective machining of granite by reducing tribological interactions / Li Y. et al. *Journal of materials processing technology*. 2002. Vol. 129. №. 1–3. P. 389–394.
45. Quantitative analysis of the loads acting on the abrasive grits in the diamond sawing of granites / Xu X. P., Li Y., Zeng W. Y., Li L. B. *Journal of materials processing technology*. 2002. Vol. 129. №. 1–3. P. 50–55.
46. Di Ilio A., Togna A. A theoretical wear model for diamond tools in stone cutting. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 2003. Vol. 43. №. 11. P. 1171–1177.
47. Wei X., Wang C. Y., Zhou Z. H. Study on the fuzzy ranking of granite sawability. *Journal of materials processing technology*. 2003. Vol. 139. №. 1–3. P. 277–280.
48. Xu X., Li Y., Yu Y. Force ratio in the circular sawing of granites with a diamond segmented blade. *Journal of Materials Processing Technology*. 2003. Vol. 139. №. 1–3. P. 281–285.
49. Ersoy A., Buyuksagic S., Atici U. Wear characteristics of circular diamond saws in the cutting of different hard abrasive rocks. *Wear*. 2005. Vol. 258. №. 9. P. 1422–1436.
50. The influence of rock microhardness on the sawability of Pink Porrino granite / Delgado N. S. et al. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. Spain. 2005. Vol. 1. №. 42. P. 161–166.
51. Wright D. N., Cassapi V. B. Factors influencing stone sawability. *Industrial Diamond Review*. 1985. Vol. 45. №. 2. P. 84–87.

52. Wright D. N. Prediction of diamond wear in the sawing of stone // *Industrial Diamond Review*. 1986. Vol. 46. №. 5. P. 213–16.
53. Luo S. Y., Liao Y. S. Study of the behaviour of diamond saw-blades in stone processing. *Journal of Materials Processing Technology*. 1995. №. 51. P. 296–308.
54. Ersoy A., Atici U. Specific energy prediction for circular diamond saw in cutting different types of rocks using multivariable linear regression analysis. *Journal of Mining Science*. 2005. Vol. 41. №. 3. P. 240–260.
55. Luo S. Y., Liao Y. S. Effects of diamond grain characteristics on sawblade wear. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 1993. Vol. 33. №. 2. P. 257–266.
56. Buyuksagis I. S. Effect of cutting mode on the sawability of granites using segmented circular diamond sawblade. *Journal of Materials Processing Technology*. 2007. Vol. 183. №. 2–3. P. 399–406.
57. Xu X., Yu Y. Sawing performance of diamond with alloy coatings. *Surface and Coatings Technology*. 2005. Vol. 198. №. 1–3. P. 459–463.
58. Bayram F., Yasitli N. E. Effects of sawing parameters on natural stone processing performance. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: *Journal of Process Mechanical Engineering*. 2013. Vol. 227. №. 4. P. 287–294.
59. Yurdakul M., Akdas H. Prediction of specific cutting energy for large diameter circular saws during natural stone cutting. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2012. Vol. 53. P. 38–44.
60. Modeling and experimental study on cutting force of diamond circular saw in cutting granite using response surface methodology. Advanced Materials Research / Zhang Z. et al. *Trans Tech Publications*, 2013. Vol. 652. P. 2191–2195.
61. Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України від 03.03.2003 р. № 34.
62. Смирнов А. Г., Бакка Н. Т., Биржишкие И. С. Добыча и обработка природного камня. М. : Недра, 1990. 445 с.

63. Беликов Б. П. О методе изучения трещинной тектоники месторождений строительного и облицовочного камня. М. : АН СССР, 1953. 38 с.
64. Горбулев И. Н., Фаталиев С. А. Выход стандартного камня и метод его определения. Объединенная научная сессия институтов строительных материалов и сооружений; Закавказских республик. Баку, 1958. С. 249–256.
65. Косолапов А. И. Технология добычи облицовочного камня. Красноярск : КГУ, 1990. 189 с.
66. Анощенко Н. Н. Геометрический анализ трещиноватости и блочности месторождений облицовочного камня. Методические указания М. : МГИ, 1983. 32 с.
67. Протопопов И. И., Цветков В. А. Учет влияния глубины при оценке трещиноватости пород по керну скважин. Колыма. 1977. № 2. С. 39–40.
68. Добрынский А. М., Коримагин В. А., Юшков А. С. О методике изучения трещиноватости по керну буровых скважин. *Изв. вузов. Геология и разведка*. 1978. № 9. С. 162–167.
69. Моторный Н. И. К вопросу выбора оптимальных критериев оценки блочности массивов облицовочного камня. *Повышение эффективности; производства и качества нерудных, строительных и облицовочных материалов*. Сборник трудов. М. : ВНИИПИИСТОМСЫРЬЕ, 1982. С. 34 – 42.
70. Поляков В. В. Определение ожидаемого выхода блочного камня при разработке месторождений изверженных пород. *Разведка и охрана недр*. 1970. № 3. С. 10–12.
71. Шония Н. Ф., Мидлишвили Ш. А. Определение выхода блоков по данным бурения. *Разведка и охрана недр*. 1979. № 10. С. 55–57.
72. Бакка Н. Т. Прогнозирование блочности на месторождениях облицовочных гранитов горногеометрическими методами : автореф. дисс. на соискание уч. степени к.т.н. Днепропетровск, 1975. 14 с.
73. Подойников С. И. Исследование технологии добычи штучного камня на гранитных месторождениях с целью увеличения производительности

карьеров (на примере карьеров Ленинградской области) : автореф. дисс. на соискание уч. степени к.т.н. Ленинград. 1977. 18 с.

74. Анощенко Н. Н., Стремилев В. Я. Районирование карьерного поля по блочности на месторождениях облицовочного камня. Техника и технология разработки карьерных полей. Сборник научных трудов МГИ. М. : МГИ. 1983. С. 116–122.

75. Моторный Н. И., Назаров П. Н., Сиренко В. Н. Технологические требования к оперативному картированию массивов карьеров природного камня при его добыче. *Строительные материалы*. 1987. № 4. С. 12–14.

76. Орынбаев Б. Учет трещиноватости при выборе направления разработки мраморных месторождений. *Вестник АН КазССР*. Алма-Ата. 1974. № 9. С. 63–68.

77. Акопян Р. В., Григорян М. С. Расчетно-аналитический метод определения потерь, связанных с трещиноватостью пород при механизированной добыче блоков облицовочного камня. *Труды НИИКС*. Ереван. 1974. Вып. 7. С. 45–47.

78. Косолапов А. И. Исследование влияния на коэффициент выхода товарных блоков мрамора показателей интенсивности добычных работ. *Добыча, обработка и применение природного камня*. Межвуз. сб. научн. тр. Магнитогорск : МГТУ, 2001. С. 94–108.

79. Першин Г. Д., Караулов Г. А., Караулов Н. Г. Добыча блоков мрамора алмазно-канатными пилами. Учеб. пособие. Магнитогорск : МГТУ, 2003. 103 с.

80. Обладнання для видобування блочного природного каменю. Навч. посібник / Коробійчук В. В. та ін. Житомир : ЖДТУ, 2011. 348 с.

81. Mamray V., Korobiichuk V., Shlapak V. Experience of Dimension Stone Extraction by Quarry Cutting Machine at Pokostovsky Deposit (Ukraine). *Journal of Mining and Geological Sciences*. Sofia, 2019. Vol. 62, №. 2. P. 66–69.

82. Evaluation of the effectiveness of natural stone surface treatment from Ukraine by mechanical and chemical methods / Korobiichuk V. A. et al. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*. 2018. Vol. 33. №. 4. P. 15–21.
83. Криворучко А. О., Коробійчук В. В., Іськов С. С. Розробка узагальненої методики геометризації масивів природного каменю з метою отримання комплексної моделі родовищ. *Вісник ЖДТУ*. 2012. № 4 (63). С. 190–202.
84. Проектування каменеобробних підприємств. Навч. Посібник. Ч. II / Іськов С. С. та ін. Житомир : ЖДТУ, 2019. 248 с.
85. European integration: treatment of stone processing enterprises waste in Ukraine / Korobiichuk V. V. et al. *Вісник ЖДТУ*. 2017. №. 1 (79). P. 182–190.
86. Shamrai V. I., Korobiichuk V. V., Sobolevskyi R. V. Management of waste of stone processing in the framework of Euro integration of Ukraine. *Вісник ЖДТУ*. 2017. № 2 (80). С. 234–239.
87. Коробійчук В. В. Обґрунтування лінійних розмірів блоків природного каменю залежно від вимог споживачів. *Вісник ЖДТУ*. 2015. № 4 (75). С. 123–129.
88. Виймально-навантажувальні роботи на кар'єрах. Навч. посібник / Коробійчук В. В. та ін. Житомир : ЖДТУ, 2017. 440 с.
89. The study of corrosion resistance of Pokostivskiy granodiorites after processing by various chemical and mechanical methods / Korobiichuk I. et al. *Construction & Building Materials*. 2016. Vol. 114. P. 241–247.
90. Korobiichuk V. Study of Ultrasonic Characteristics of Ukraine Red Granites at Low Temperatures. International Conference on Systems, Control and Information Technologies 2016. *Springer International Publishing*. 2016. P. 653–658.
91. Коробійчук В. В., Соболевський Р. В., Зубченко О. А. Дослідження шляхів мінімізації витрат при буровибуховому способі видобування блоків декоративного каменя. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія. Технічні науки*. Житомир. 2006. № 4 (39). С. 301–308.

92. Investigation of leznikovskiy granite by ultrasonic methods / Korobiichuk I. et al. *Archives of Mining Sciences*. 2018. Vol. 63. №. 1. P. 75–82.
93. Дослідження показників очікуваних експлуатаційних втрат сировини при видобуванні блочної сировини дисковими каменерізними машинами / Мамрай В. В., Коробійчук В. В., Толкач О. М., Шлапак В. О. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія. Технічні науки*. 2019. № 1 (83). С. 270–275.
94. Tonshoff H. K. Wear of metal-bond diamond tools in the machining of stone. *Ind. Diamond Rev.* 1997. Vol. 7. P. 39–40
95. Ersoy A., Atici U. Performance characteristics of circular diamond saws in cutting different types of rocks. *Diamond and Related Materials*. 2004. Vol. 13. №. 1. P. 22–37.
96. Buyuksagis I. S., Goktan R. M. Investigation of marble machining performance using an instrumented block-cutter. *Journal of Materials Processing Technology*. 2005. Vol. 169. №. 2. P. 258–262.
97. Pai D. M., Ratterman E., Shaw M. C. Grinding swarf. *Wear*. 1989. Vol. 131. №. 2. P. 329–339.
98. Xu X., Li Y., Malkin S. Forces and energy in circular sawing and grinding of granite. 2000. №. 123 (1), P. 13–22.
99. Polini W., Turchetta S. Force and specific energy in stone cutting by diamond mill. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 2004. Vol. 44. №. 11. P. 1189–1196.
100. Jennings M., Wright D. Guidelines for sawing stone. *Industrial Diamond Review*. 1989. Vol. 49. №. 2. P. 70–75.
101. Xu X. P., Huang H., Li Y. Material removal mechanisms in diamond grinding of granite, part 1: the morphological changes of granite from sawing to grinding. Key Engineering Materials. *Trans Tech Publications*, 2003. Vol. 250. P. 215–221.

102. Бакка Н. Т., Ильченко И. В. Облицовочный камень. Геолого-промышленная и технологическая оценка месторождений. Справочник. Недра, 1992. 303 с.
103. Бакка Н. Т. Прогнозирование блочности на месторождениях облицовочных гранитов горногеометрическими методами : дисс. ... к.т.н. 1974. 166 с.
104. Коробійчук В. В. The examination of leznykivskoho granite deposit fracturing with prospects of block products mining. *Eastern-European Journal of enterprise technologies*, 2013. №. 6/5 (66). P. 23–28.
105. Антипенко Г. О., Ніколаєва Т. Г. Геометризація родовищ корисних копалин. НГА України, 2002. 113 с.
106. Levytskyi V., Sobolevskyi R., Korobiichuk V. The optimization of technological mining parameters in quarry for dimension stone blocks quality improvement based on photogrammetric techniques of measurement. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 2018. № 33, 2, С. 83–89.
107. Коробійчук В. В., Кісель О. О., Стріха В. А. Геометризація супутньої корисної копалини в умовах Лезниківського родовища гранітів та гірничо-геометричний аналіз його показників. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія. Технічні науки*. 2012. № 2. С. 175–184.
108. Жуков С. О., Кальчук С. В. Теоретические основы динамики процесса откола камня шпуровыми методами в карьере. Сборник научных трудов. *Добыча, обработка и применение природного камня*. 2015. № 15. С. 100–104.
109. Griffith A. A. The phenomena of rupture and flow in solids. *Philosophical transactions of the Royal Society of London*. 1920. P. 163–198.
110. Криворучко А. О. Обґрунтування методики геометризації габроїдних порід на основі визначення та оцінки показників структури та декоративності : дис. ... к.т.н. : 05.15.01. Дніпропетровськ, 2006. 181 с.

111. Mamray V., Korobiichuk V., Shlapak V. Experience of dimension stone extraction by quarry cutting machine in pokostovsky deposit (Ukraine). *Journal of mining and geological sciences*. 2019. Vol. 62 (2). P. 66–70.
112. Dimension Stone Blocks Modelling Based on Digital Surface Model Methods / Levytskyi V., Makhno A., Panasiuk A., Mamrai V. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія. Технічні науки*. Житомир, 2018. № 2 (82). С. 259–267.
113. Коробійчук В. В. Метод оцінки тиску, що виникає при тепловому розширенні кристалів солей і льоду в порях природного каменю. *Вісник ЖДТУ. Серія. Технічні науки*. 2011. № 3 (58). С. 176–179.
114. Коробійчук В. В. Залежність внутрішньопорового тиску від пружних властивостей природного каменю. *Вісник ЖДТУ. Серія. Технічні науки*. 2012. № 1 (60). С. 123–126.
115. Іськов С. С., Криворучко А. О., Коробійчук В. В. Формування забарвлення декоративного каменю Частина 2. Штучне забарвлення кам'яних виробів. *Вісник ЖДТУ. Серія. Технічні науки*. 2011. № 1 (56). С. 100–108.
116. Застосування інформаційно-коп'ютерних технологій для дослідження гірничо-екологічних особливостей родовищ рудних і нерудних корисних копалин / Криворучко А. О., Коробійчук В. В., Подчашинський Ю. О., Ремезова О. О. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія. Технічні науки*. 2007. № 1 (40). С. 186–195.
117. Shamrai V., Korobiychuk V. Influence of grinding-polishing of natural stone on its shine and lightness shades. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2014. Vol. 5, №. 5. P. 71.
118. Definition of hue of different types of pokostivskiy granodiorite using digital image processing / Korobiichuk V. et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 4/5 (82). P. 52–57.
119. Коробійчук В. В., Коробійчук І. В., Ломаков Г. М. Дослідження впливу агресивного середовища на колірне забарвлення поверхні каменю. *Вісник Криворізького національного університету*. 2014. № 28.

120. Коробійчук В. В., Жуков С. О., Астахов В. І. Вплив технологічних чинників на якість лицювального каменю. *Вісник Криворізького національного університету*. 2014. № 28.
121. A procedure for modeling the deposits of kaolin raw materials based on the comprehensive analysis of quality indicators / R. Sobolevskyi et al. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2017. №. 3 (3). P. 54–67.
122. Hot properties of labradorite under thermal exposure / Korobiichuk V. et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 1. №. 12 (97). P. 14–20.
123. Analysis of change in the decorative properties of granites under thermal exposure / Korobiichuk V. et al. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2019.
124. Мамрай В. В. Методика моделювання тріщинуватого гранітного масиву і вибору раціонального напрямку закладення видобувного уступу. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія. Технічні науки*. Житомир. 2007. № 2 (42). С. 139–147.
125. Мамрай В.В. Методика моделювання тріщинуватого гранітного масиву і вибору раціонального напрямку закладення видобувного уступу. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2007. № 4 (43). С. 139-144.
126. Kalchuk S., Zhukov S., Mamray V. New Approaches of Dimension Stone Splitting by Non-blasting Methods in a Quarry. VIII International Protodiakonov Colloquium. Freiberg : TU Bergakademie Freiberg, 2017. Vol. 69. P. 97–102.
127. Changes of physical and decorative natural stone properties after impact of high temperature / Korobiichuk V., Shlapak V., Mamray V., Sydorov O. *Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики*. II міжнародна науково-технічна конференція. Київ : Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, 2019. С. 10–13.

128. Shlapak V., Davydova I., Mamray V. Post-blasting Contamination of Quarries' Sump Waters International Conference 2019 Innovations for Responsible Surface Mining. Freiberg : TU Bergakademie Freiberg, 2019. P. 340–350.

129. Криворучко А. О., Коробійчук В. В., Іськов С. С. Розробка узагальненої методики геометризації масивів природного каменю з метою отримання комплексної моделі родовища. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія. Технічні науки*. Житомир. 2012. № 4 (63). С. 190–202.

130. Мамрай В.В., Панасюк А.В. Визначення закономірностей розподілу параметрів тріщинуватості Межиричського родовища граніту. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2007. № 28. С. 172-179 с.

131. Мамрай В.В. Визначення параметрів середніх природних окремоностей масиву гірських порід на основі графо-статистичного моделювання. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2007. № 2 (41). С. 1-6.

132. Влияние анизотропности массивов горных пород на условия разработки месторождений блочного камня. / Мамрай В.В. *Добыча, обработка и применение природного камня*. Сборник научных трудов. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И.Носова», 2006. Вып. 6. С. 67-70.

133. Оценка влияния одно- и многошпурового подрывания на монолитность и разубоживание массива декоративного камня. / Бакка Н.Т., Кисель Е.А., Мамрай В.В. *Добыча, обработка и применение природного камня*. Сборник научных трудов. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И.Носова», 2008. Вып. 8. С. 32-36.

ДОДАТОК А



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Ministry of Education and Science of Ukraine, Zhytomyr Polytechnic State University

вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, 10005
103, Chudnivska Str., Zhytomyr, Ukraine, 10005
Phone/fax: (0412) 24-14-22, 24-14-23, e-mail: rector@ztu.edu.ua, https://ztu.edu.ua, код ЄДРПОУ 05407870

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ВІДПОВІДАЄ ДСТУ ISO 9001:2015
QUALITY MANAGEMENT SYSTEM ISO 9001:2015

Від 12.03.2020 № 44-23.05/528
На № _____ від _____

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційного дослідження Мамрая Василя Васильовича

Засвідчую, що основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи на здобуття доктора філософії Мамрая Василя Васильовича на тему «Обґрунтування технологічних параметрів видобування блочного каменю дисковими машинами» впроваджені в організацію навчального процесу Житомирського державного технологічного університету в таких формах:

1) при складанні навчальних (робочих) програм та викладанні таких дисциплін: «Технологія розробки стінового каменю і блоків», «Організація та планування гірничих робіт» та «Відкриті гірничі роботи»;

2) у наукових виданнях, які використовувалися у навчальному процесі та знаходяться у бібліотеці Житомирського державного технологічного університету:

1. Мамрай В.В. Визначення параметрів середніх природних окремоств масиву гірських порід на основі графо-статистичного моделювання. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. Житомир, 2007. № 1 (41). С. 159-166.

2. Dimension Stone Blocks Modelling Based on Digital Surface Model Methods / V. Levytskyi, A. Makhno, A. Panasiuk, V. Mamrai. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. Житомир, 2018. № 2 (82). С. 259-267.

3. Обґрунтування методики вибору напрямку ведення гірничих робіт для дискових машин / Р.В. Соболевський та ін. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. Житомир, 2019. № 2 (84). С. 166-175.

Ректор Державного університету
«Житомирська політехніка»
д.е.н., проф.



В.В. Євдокимов

ДОДАТОК Б

«ЗАТВЕРДЖУЮ»



ДОВІДКА

про впровадження наукових результатів дисертаційної роботи Мамрая Василя Васильовича на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук «Обґрунтування технологічних параметрів видобування блочного каменю дисковими машинами»

Результати досліджень Мамрая Василя Васильовича використовуються в діяльності ТОВ "Головинський камінь" для підвищення ефективності управління якістю блоків природного каменю. Особливо важливими для практичного використання є: методика визначення питомої продуктивності різання природного каменю дисковими пилами.

Використання результатів дисертаційної роботи дозволяє підвищити ефективність видобутку блоків декоративного природного каменю при розробці покладів природного каменю, підвищити раціональність використання сировини та ефективність використання видобувного обладнання.

Очікуваний розрахунковий економічний ефект на ТОВ "Головинський камінь" при прийнятті до впровадження результатів дисертаційних досліджень Мамрая Василя Васильовича на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук «Обґрунтування технологічних параметрів видобування блочного каменю дисковими машинами» становить 232 тис. грн. на рік.

Отримана практична цінність результатів впровадження автора дисертаційної роботи дозволяє рекомендувати їх до використання іншими підприємствами, які розробляють поклади природного каменю.

Начальник дільниці
ТОВ "Головинський камінь"

A handwritten signature in blue ink, likely belonging to Bohdan B. Zaharchuk.

Захарчук Б.Б.

ДОДАТОК В

«ЗАТВЕРДЖУЮ»



ДОВІДКА

про впровадження наукових результатів дисертаційної роботи Мамрая Василя Васильовича на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук «Обґрунтування технологічних параметрів видобування блочного каменю дисковими машинами»

Результати досліджень Мамрая В.В. використовуються в діяльності ТОВ «Габрогор» для підвищення ефективності різання природного каменю дисковими машинами. Особливо важливими для практичного використання є: методика вибору напрямку ведення гірничих робіт для дискових машин при видобуванні блочного каменю.

Використання результатів дисертаційної роботи дають змогу раціонально використовувати видобувне обладнання, збільшити продуктивність різання природного каменю, зменшити витрати на обслуговування дискових машин.

Очікуваний розрахунковий економічний ефект на ТОВ «Габрогор» при прийнятті до впровадження результатів дисертаційних досліджень Мамрая Василя Васильовича на тему «Обґрунтування технологічних параметрів видобування блочного каменю дисковими машинами» становить 325 тис. грн. на рік.

Начальник дільниці
ТОВ «Габрогор»

Остріков В.О.

ДОДАТОК Г

**Оптимальні напрямки дискового різання та елементи залягання тріщин
для Головинського родовища лабрадориту (умовна система координат)**

№	№	Координати		Рекомендований напрямок дискового різання, градуси	Азимут простягання, градуси	Кут падіння, градуси
		X	Y			
1.	1	202,43	501,49	90	230	78
2.	2	275,18	512,48	175	77	72
3.	3	254,08	528,46	137	101	83
4.	4	120,45	478,32	145	94	65
5.	5	169,35	560,38	164	208	72
6.	6	250,821	481,645	110	200	81
7.	7	235,45	484,25	7	225	83
8.	8	214,48	491,32	11	240	85
9.	9	203,69	501,482	23	321	73
10.	10	180,013	559,086	252	85	54
11.	11	194,86	566,7	324	24	43
12.	12	192,45	558,71	341	28	58
13.	13	213,011	407,342	252	20	40
14.	15	189,03	548,41	140	90	77
15.	16	191,01	534,3	318	48	56
16.	17	194,61	528,58	344	74	80
17.	18	280,14	519,48	160	98	80
18.	20	264,03	520,56	300	140	66
19.	23	291,902	480,351	339	49	51
20.	24	267,93	483,45	283	63	71
21.	25	226,4	392,94	341	124	70
22.	26	173,576	449,743	37	307	60
23.	27	262,291	395,074	276	36	32
24.	28	356,11	485,03	325	38	48
25.	29	310,35	475,5	138	128	53
26.	30	352,11	466,48	20	110	49
27.	31	351,67	457,88	321	51	50
28.	33	331,42	436,28	302	120	71
29.	35	200,894	421,619	9	279	64
30.	37	215,126	406,29	163	83	67
31.	38	311,5	400	87	117	65
32.	39	316,03	416,42	340	70	48
33.	40	320,99	423,12	28	118	45
34.	41	320,55	419,51	31	301	51
35.	42	316,6	407,15	59	329	40

№	№ точок	Координати		Рекомендований напрямок дискового різання, градуси	Азимут простягання	Кут падіння
		Х	У			
36.	43	321,87	471,15	14	284	51
37.	45	255,827	426,031	254	84	44
38.	46	296,76	381,06	20	290	37
39.	47	214,39	419,792	308	178	63
40.	48	282,41	377,3	56	326	31
41.	49	255,302	405,039	122	177	59
42.	50	247,274	425,152	121	97	65
43.	51	274,361	445,618	307	37	47
44.	52	277,176	432,413	190	96	60
45.	54	282,96	363,42	240	162	67